



TESIS :

STUDI PEMANFAATAN SKEG AKTIF SEBAGAI ANTI ROLLING PADA KAPAL CEPAT

**MOCHAMMAD ALI MUDHOFFAR
4114 204 001**

**DOSEN PEMBIMBING :
Dr. Ir. A A MASROERI, M Eng**

**PROGRAM MAGISTER
JURUSAN TEKNIK SISTEM DAN PENGENDALIAN KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**



THESIS :

STUDY ON ACTIVE SKEG APPLICATION AS ANTIROLLING ON FAST SHIP

MOCHAMMAD ALI MUDHOFFAR
4114 204 001

SUPERVISOR :
Dr. Ir. A A MASROERI, M Eng

MAGISTER PROGRAM
DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUT OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2016

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamiin, segala puja dan puji kehadiran Allah SWT, atas segala karunia dan ridlo-Nya, sehingga tesis dengan judul **“STUDI PEMANFAATAN SKEG AKTIF SEBAGAI ANTI ROLLING PADA KAPAL CEPAT”** ini dapat terselesaikan.

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik (MT) pada Jurusan Sistem dan Pengendalian Kelautan Fakultas Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyusunannya banyak pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tesis ini, oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada :

1. Orang tuaku, Bapak (Alm) S. Malikan, Ibu Cholifah, serta Bapak Zainul Arifin dan Ibu Sunaiyah, berkat doa dan dukungannya sehingga kami dapat menyelesaikan penulisan tesis dan pendidikan pasca sarjana ini.
2. Istriku Ainur Rachmawaty dan anak-anakku, Darwisy Ahmad Alfayyadl, Delyla Aqilah Azka dan Daffa Ahmad Alghifari, yang selalu setia memberikan doa, semangat dan dorongannya dalam menyelesaikan studi ini.
3. Kakak-kakakku yang memberikan dukungan dan doanya selama dalam menyelesaikan studi ini.
4. Bapak Dr. Ir. A. A. Masroeri, M Eng, selaku dosen pembimbing tesis yang banyak memberikan saran dan masukan dalam penulisan tesis ini.
5. Bapak Baharudin Ali, ST, M Eng, yang telah banyak memberikan ide dan banyak membantu dalam pengujian dan analisa.
6. Bapak Dr. Ir. Erwandi, M Eng, selaku supervisor sehingga kami mendapatkan beasiswa dari Kemenristekdikti, serta saran-saran yang telah diberikan.
7. Bapak Dr. Trika Pitana, M.Sc, selaku dosen wali selama studi di PPsTK, atas bimbingan dan dorongan semangatnya.
8. Bapak Ir. Agung Zuhdi, P.hD, Bapak Dr. I Made Ariana ST, MT, Bapak Sutopo Fitri ST, M Eng, P hD, Bapak Semin, ST, MT, P hD, selaku dosen penguji tesis atas masukan-masukan yang diberikan.
9. Seluruh dosen PPsTK atas pengajaran dan ilmu yang telah diberikan kepada kami.

10. Bapak Dr. Taufiq A S, M Eng, selaku Ka. UPT BPPH, atas fasilitas yang telah diberikan.
11. Bapak-bapak operator dan teknisi kolam uji MOB dan Instrumentasi, yang telah membantu selama persiapan dan proses pengujian.
12. Bapak Hasan atas semua bantuan administrasi yang diberikan.
13. Teman-teman angkatan 2014 : Ghofur, Ede, Eri, Raedy, Rocky, Habibi, Nurhadi, Daif, Kusnindar, atas kerjasama selama kuliah, semoga tetap berlanjut.
14. Kepada semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Dengan keterbatasan pengalaman, pengetahuan maupun pustaka yang ditinjau, kami menyadari bahwa tesis ini masih banyak kekurangan dan perlu pengembangan lebih lanjut agar benar-benar bermanfaat. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran agar tesis ini lebih sempurna serta sebagai masukan bagi kami untuk penelitian dan penulisan karya ilmiah dimasa yang akan datang.

Akhir kata, kami berharap tesis ini memberikan manfaat bagi kita semua.

Surabaya, Januari 2016

Mochammad Ali Mudhoffar

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

Mochammad Ali Mudhoffar
NRP. 4114204001

Hari / Tanggal Ujian : Rabu / 20 Januari 2016
Periode Wisuda : Maret 2016

Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing :

1. Dr. Ir. A. A. Masroeri, M Eng
NIP. 19580807 198403 1 004

Dosen Penguji:

1. Ir. Aguk Zuhdi, M. F, M Eng, Ph D
NIP. 19560519 198610 1 001

2. Dr. I Made Ariana, ST, MT
NIP. 19710610 199512 1 001

3. Sutopo Purwono Fitri, ST, M Eng, Ph D
NIP. 19751006 200212 1 003

4. Semin, ST, MT, Ph D
NIP. 19710110 1997022 1 001



Direktur Program Pascasarjana,

Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D
NIP. 19601202 198701 1 001



UPT BALAI PENGKAJIAN DAN PENELITIAN HIDRODINAMIKA

Komplek ITS Sukolilo, Jalan Hidrodinamika, Surabaya 60112

Telepon (031) 594 7849, 594 8060 Faksimile (031) 594 8066

Website <http://www.bppthidrodinamika.com>

SURAT IJIN PUBLIKASI PADA JURNAL WAVE

Nomor : B- 04 /UPT BPPH/WAVE 09-02/XII/2015

Kepada Penulis Yth,

Dengan ini kami menyampaikan bahwa makalah dengan:

Judul : *FEASIBILITY STUDY PEMANFAATAN SKEG AKTIF SEBAGAI ANTI ROLLING PADA KAPAL CEPAT DENGAN METODE UJI MODEL*

Penulis : M. Ali Mudhoffar, ST, A. A Masroeri dan Baharuddin Ali., ST., M.Eng

Telah dilakukan penilaian dan dinyatakan **diterima**, untuk diterbitkan di Jurnal WAVE Volume 9 No. 2 bulan Desember tahun 2015, selanjutnya dilakukan proses pencetakan. Untuk itu, kami mohon persetujuan dari penulis sekaligus menyerahkan hak cipta kepada Jurnal WAVE UPT BPPH-BPPT.

Mohon formulir ini ditandatangani dan dikembalikan kepada Sekretariat Jurnal WAVE, selambat-lambatnya tanggal 18 Desember 2015.

Surabaya, 14 Desember 2015

Ketua Penyunting Jurnal WAVE

ub

Prof. Ir. Buana Ma'ruf, M.Sc.,MM

STUDI PEMANFAATAN SKEG AKTIF SEBAGAI ANTI ROLLING PADA KAPAL CEPAT

Mahasiswa Nama : Mochammad Ali Mudhoffar

Mahasiswa ID : 4114 204 001

Pembimbing : Dr. Ir. A A Masroeri, M Eng

ABSTRAK

Gerakan kapal dilaut pada dasarnya memiliki 3 gerakan translasi (surge, sway, dan heave) dan 3 gerakan rotasi (roll, pitch, dan yaw). Pada kapal cepat hal tersebut sangat sering terjadi sehingga berdampak pada kestabilan kapal. Berbagai macam penelitian dilakukan untuk menambah stabilitas kapal cepat. Pada gerakan roll terdapat metode tangki U, fin aktif, bilge keel. Sehubungan dengan fin aktif, dilakukan uji terhadap skeg yang diaktifkan (skeg aktif). Pemasangan skeg aktif adalah salah satu upaya untuk mengurangi gerakan roll yang terjadi, dimana skeg dapat diubah sudutnya. Penggunaan skeg aktif pada model kapal cepat dilakukan saat pengujian seakeeping di kolam uji dengan mensimulasikan gelombang reguler dengan arah longitudinal dan diagonal kolam uji. Gerakan model kapal ditangkap dengan menggunakan kamera Qualisys. Hasil yang didapatkan akan dibandingkan dengan pengujian model kapal tanpa menggunakan skeg aktif sebagai anti roll pada sebuah model kapal cepat.

Dari hasil pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa penggunaan skeg aktif yang divariasikan sudutnya tanpa gerakan otomatis, tidak banyak berpengaruh untuk meredam gerakan rol yang terjadi pada kapal cepat.

Kata kunci : skeg aktif, model kapal, gelombang reguler, seakeeping, qualisys

STUDY ON APPLICATION SKEG AS ANTI ROLLING ON FAST SHIP

Student Name : Mochammad Ali Mudhoffar
Student ID : 4114 204 001
Supervisor : Dr. Ir. A A Masroeri, M Eng

ABSTRACT

Movement of ships in the sea basically has 3 translational motion (surge, sway and heave) and three rotational movement (roll, pitch, and yaw). In the fast boats it is very common to have an impact on the stability of the ship. Various studies done to increase the stability of the ship quickly. In the roll motion contained U tank method, active fin, bilge keel. In connection with active fin, test against the skeg is activated (active skeg). Installation of active skeg is one of the efforts to reduce roll motion that occurs, which can be changed skeg corner. The use of active skeg on a quick ship model testing done while in the pool seakeeping test by simulating the regular wave in the longitudinal direction and diagonal test pool. Movement of ship models captured by using the camera Qualisys. The results obtained will be compared with a ship model testing without using active anti roll skeg on a quick ship model.

From the test results can be concluded that the use of active skeg varied corners without automatic movement, did little to dampen the movement of rollers which occurred on a fast boat.

Keywords: active skeg, ship models, regular waves, seakeeping, qualisys

DAFTAR ISI

1. Halaman Judul	i
2. Lembar Pengesahan	ii
3. Abstrak	iii
4. Kata Pengantar	vi
5. Daftar Isi	vii
6. Daftar Gambar	ix
7. Daftar Tabel	xii
8. Bab I. Pendahuluan	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan	2
1.3. Hipotesis	3
1.4. Tujuan	3
9. Bab II. Dasar Teori	
2.1. The Ship With And Without Shaky Fin Stabilizer In Lieu Outrigger	5
2.2. Roll Stabilization by Anti-roll Passive Tanks	7
2.3. Perancangan Sistem Stabilisasi Rudder Roll pada Kapal Perang Kelas SIGMA dengan Kontrol Logika Fuzzy	9
2.4. Teori Seakeeping	10
2.4.1. Gerakan Kapal	12
2.5. Standar Prosedur Pengujian Seakeeping di Kolam Uji UPT BPPH Surabaya	19
2.5.1. Fasilitas dan Peralatan Pengujian Seakeeping	19
2.5.2. Distribusi Berat dan Inersia Momen	21
2.5.3. Simulasi Gelombang dan Setting Model	22
2.5.4. Kalibrasi Alat	23
2.5.5. Prosedur Pengambilan Data Uji Seakeeping	24
10. Bab III. Metode Penelitian	
3.1. Perumusan Masalah	28

3.2. Studi Literatur	28
3.3. Hipotesis	28
3.4. Pengumpulan Data Sekunder	29
3.5. Persiapan Model Uji dan Kolam Uji	29
3.6. Persiapan Pengujian	30
3.7. Pengumpulan Data Primer / Pengujian	30
3.8. Analisa Data	32
3.9. Cek Hipotesis	33
3.10. Pelaporan dan Publikasi	33
11. Bab IV. Pengujian Seakeeping Model Kapal Cepat	
4.1. Persiapan Model Kapal	35
4.2. Persiapan Kolam Uji	41
4.3. Pengujian Seakeeping Model Kapal Cepat	44
4.4. Hasil Pengujian	47
4.4.1. Roll Decay Test	47
4.4.2. Seakeeping Test Arah Gelombang 90 deg	47
4.4.3. Seakeeping Test Arah Gelombang 135 deg	55
4.4.4. Energy Roll Spectrum	62
12. Bab V. Kesimpulan	63
13. Daftar Pustaka	65
14. Biografi	67

DAFTAR TABEL

1. Tabel 2.1. Pengujian Oleng Model Kapal	6
2. Tabel 2.2. Kriteria Indeks Unjuk Kerja Seakeeping menurut Olson an Camstock et. al	12
3. Tabel 3.1. Skenario Seakeeping Test Model Kapal Cepat	32
4. Tabel 4.1. Ukuran Utama Model Kapal	35
5. Tabel 4.2. Luas Spektrum Roll Energi arah gelombang 90 deg	54
6. Tabel 4.3. Luas Spektrum Roll Energi arah gelombang 135 deg	61

DAFTAR GAMBAR

1. Gambar 2.1. Analog respon gerak dengan sistem filter	11
2. Gambar 2.2 Gambar gerakan kapal pada 6 derajat kebebasan	12
3. Gambar 2.3. Skema dari gerak heave	13
4. Gambar 2.4. Skema dari gerak roll	14
5. Gambar 2.5 Skema dari gerak pitch	15
6. Gambar 2.6. Jenis Pergerakan Kapal (SNAME, 1950)	16
7. Gambar 2.7. Parameter utama pola pergerakan kapal (Sutula, 2002)	17
8. Gambar 2.8. Sketsa Kolam Uji MOB	19
9. Gambar 2.9. Flowchart prosedur pengujian seakeeping di UPT BPPH Surabaya	25
10. Gambar 3.1. Flowchart Metode Penelitian	27
11. Gambar 3.2. Flowchart pengujian seakeeping model kapal cepat	31
12. Gambar 4.1. Model Kapal Cepat	35
13. Gambar 4.2. Skeg yang telah dimodifikasi	36
14. Gambar 4.3. Piringan Pengatur Skeg	36
15. Gambar 4.4. Ukuran daun kemudi dan skeg yang telah dipotong	37
16. Gambar 4.5. Gear box dengan Motor DC	37
17. Gambar 4.6. Motor DC Servo untuk penggerak daun kemudi	38
18. Gambar 4.7. Daun Kemudi (rudder) dan Propeller	38
19. Gambar 4.8. Blok Diagram Kontrol Model Kapal Cepat	39
20. Gambar 4.9. Penimbangan Model Kapal	40
21. Gambar 4.10. Sensor Qualisys	40
22. Gambar 4.11. Pengecekan level kapal (evenkeel)	41
23. Gambar 4.12. Posisi Kamera Qualisys pada Sisi Kolam Uji	42
24. Gambar 4.13. Tampilan Jangkauan Kamera Qualisys pada Kolam Uji	43
25. Gambar 4.14. Wave Height Sensor	43
26. Gambar 4.15. Pengujian Seakeeping Arah Gelombang 135 deg, dengan sudut Skeg 0 deg	45

27. Gambar 4.16. Pengujian Seakeeping Arah Gelombang 135 deg, dengan sudut Skeg 10 deg	45
28. Gambar 4.17. Pengujian Seakeeping Arah Gelombang 135 deg, dengan sudut Skeg 20 deg	46
29. Gambar 4.18. Pengujian Seakeeping Arah Gelombang 90 deg, dengan sudut Skeg 0 deg	46
30. Gambar 4.19. Pengujian Seakeeping Arah Gelombang 90 deg, dengan sudut Skeg 20 deg	46
31. Gambar 4.20. Hasil Pengujian Roll Decay	47
32. Gambar 4.21. Hasil uji seakeeping arah gelombang 90 deg dengan variasi sudut skeg	48
33. Gambar 4.22. Hasil uji seakeeping arah gelombang 90 deg, sudut skeg 0 deg	49
34. Gambar 4.23. Hasil uji seakeeping arah gelombang 90 deg, sudut skeg 10 deg	50
35. Gambar 4.24. Hasil uji seakeeping arah gelombang 90 deg, sudut skeg 20 deg	51
36. Gambar 4.25. Hasil uji seakeeping arah gelombang 90 deg, sudut skeg 25 deg	52
37. Gambar 4.26. Roll Spektrum arah gelombang 90 deg, sudut skeg bervariasi	53
38. Gambar 4.27. Hasil uji seakeeping arah gelombang 135 deg dg variasi sudut skeg	55
39. Gambar 4.28. Hasil uji seakeeping arah gelombang 135 deg, sudut skeg 0 deg	56
40. Gambar 4.29. Hasil uji seakeeping arah gelombang 135 deg, sudut skeg 10 deg	57

41. Gambar 4.30. Hasil uji seakeeping arah gelombang 135 deg, sudut skeg 20 deg.	58
42. Gambar 4.31. Hasil uji seakeeping arah gelombang 135 deg, sudut skeg 25 deg.	59
43. Gambar 4.32. Roll Spektrum arah gelombang 135 deg, sudut skeg bervariasi	60
44. Gambar 4.33. Energi Roll Spectrum tiap sudut skeg	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada dinamika kapal terdapat enam macam gerakan yang dialami kapal pada saat berada dilautan antara lain yaw, heave, surge, sway, roll, dan pitch. Sistem kontrol dari gerakan kapal tersebut harus mempunyai spesifikasi mampu menstabilkan dinamika kapal. Kapal dapat bergerak oleng disebabkan karena kapal mempunyai kemampuan untuk tegak kembali karena adanya pengaruh luar yang bekerja pada kapal. Pergerakan manuver kapal dan aktivitas gelombang memberikan gangguan pada tingkat stabilitas kapal. Gelombang yang besar akan memberikan momen iniring yang cukup besar sehingga dapat mengalahkan momen pengembali kapal. Apabila proses semacam itu terjadi secara terus menerus, maka pada suatu saat tertentu kapal sudah tidak memiliki kemampuan lagi untuk tegak kembali. Stabilitas rolling kapal merupakan kemampuan sistem dalam merespon gangguan untuk berusaha kembali ke keadaan normal. Untuk meredam gerakan oleng digunakan beban yang dapat berpindah untuk menjaga stabilitas kapal. Sistem kendali yang baik harus mempunyai ketahanan terhadap gangguan dan mempunyai respon yang cepat dan akurat. Untuk mengatasi gerak roll kapal selalu menjadi masalah bagi para ahli perkapalan karena pengaruhnya tidak hanya pada penumpang kapal dan kru kapal, tetapi juga pada operasi kapalnya sendiri.

Banyak peralatan stabilitas roll yang telah sukses diterapkan, salah satu diantaranya adalah penggunaan sirip tegak aktif (active vertikal fin). Pada kapal patroli membutuhkan kecepatan dan manuver yang tinggi untuk dapat bekerja dengan optimal seperti pada saat melakukan pengejaran terhadap musuh maupun saat menembak musuh. Peran active vertikal fin sangat dibutuhkan pada saat terjadi gangguan luar pada kapal yaitu gelombang. Gerakan dari vertikal fin yang terpasang pada lambung bagian bawah kapal secara otomatis oleh sebuah motor

listrik. Motor ini bekerja dengan mendapatkan perintah dari sistem kontrol yang mendapatkan input dari gyro yang dapat mengetahui gerakan rotasi pada kapal.

Center Skeg merupakan bagian lambung yang berada dibagian tengah lambung bagian bawah buritan dengan fungsi dudukan poros baling-baling. Dengan center skeg ini maka tidak diperlukan strut, hal ini berlaku pada kapal yang menggunakan mesin tunggal. Pada kapal dengan dua mesin dan bagian bawah buritan melengkung ke atas, maka skeg berfungsi sebagai penyeimbang dan penambah buoyancy atau daya apung. Dengan daya apung yang tinggi maka akan mengurangi draft kapal yang berpengaruh langsung pada kecepatan. Penggunaan skeg yang dimodifikasi sehingga dapat bergerak seperti vertikal active fin pada kapal cepat diharapkan dapat menambah kestabilan kapal utamanya sebagai anti rolling.

1.2. Permasalahan

Beberapa macam sistem untuk mengurangi rolling yang terjadi pada kapal, seperti sistem tangki (U Tank) maupun sistem kemudi aktif serta sirip aktif. Untuk sirip aktif prinsipnya akan diterapkan pada skeg (skeg aktif), sehingga akan diketahui efek positif yang terjadi pada penggunaan sistem ini bila terjadi gangguan dari gelombang terhadap kestabilan kapal khususnya gerakan rolling. Permasalahan ini dibatasi dengan menganggap bentuk lambung kapal cepat yang tetap, dengan mengabaikan perubahan aliran pada daerah sekitar propeller yang diakibatkan modifikasi skeg. Serta pada gangguan yang diakibatkan oleh gelombang beraturan (regular) saja pada kolam uji MOB BPPH Surabaya.

Juga posisi skeg yang telah dimodifikasi dengan divariasikan pada sudut tertentu tanpa menggunakan kontrol otomatis (variasi sudut skeg secara manual). Adapun penggunaan kontrol otomatis untuk mengubah sudut skeg aktif bisa dilakukan pada penelitian selanjutnya.

1.3. Hipotesis

Dari permasalahan di atas, akan dilakukan percobaan pada sebuah model kapal cepat yang dilengkapi dengan skeg yang bisa divariasikan menjadi beberapa posisi/sudut. Dengan mengubah-ubah sudut pada skeg yang dimodifikasi tersebut diharapkan dapat diketahui fenomena gerakan rolling khususnya yang terjadi pada kapal cepat.

1.4. Tujuan

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa jauh pengaruh penggunaan skeg yang dapat diatur sudutnya sehingga dapat mengurangi gerakan rolling pada sebuah kapal, yang dilakukan pada kondisi air bergelombang, sehingga stabilitas dari kapal cepat menjadi lebih baik.

BAB II

DASAR TEORI

Skeg merupakan salah satu bentuk modifikasi yang diberikan pada bagian belakang kapal (buritan) yang bertujuan untuk membantu fluida mengalir lebih smooth melewati hull dan propeller aft. Selain itu skeg juga berfungsi untuk menambah support poros sehingga poros menjadi lebih kuat (rigid) dan tidak terjadi bending saat propeller berputar dengan putaran yang tinggi. (*Stuart Slade, www.navweaps.com*)

Pada umumnya skeg dibagi menjadi dua jenis, pertama adalah jenis skeg yang ditempatkan inboard dengan shaft propeller, skeg jenis ini mempunyai fungsi, yaitu untuk menyangga shaft itu sendiri dan juga untuk memperlancar aliran fluida. Yang kedua adalah skeg yang ditempatkan outer shaft, skeg jenis ini akan lebih efektif dalam mengatur aliran fluida agar lebih smooth menuju propeller. (*Stuart Slade, www.navweaps.com*)

Berikut ini akan dibahas beberapa jurnal yang menunjang dan berhubungan dengan penelitian yang dilakukan. Beberapa jurnal menggunakan metode yang berbeda dalam mengurangi gerakan roll pada kapal antara lain : menggunakan tangki aktif, tangki pasif, sirip aktif, sirip pasif, rudder

2.1. The Ship With And Without Shaky Fin Stabilizer In Lieu Outtrigger

By Yusuf H Siregar¹ , Syaifuddin² dan Ronald M Hutaeruk²

Dalam merancang sebuah kapal diperlukan ukuran utama sebagai dasar perencanaan dan pemodelan kapal. Ukuran utama sampan yang akan dijadikan model adalah panjang keseluruhan (LOA) = 3,15 m, lebar (B) = 0,68 m dan tinggi (H) = 0,26 m. Struktur kapal dilengkapi 6 buah gading- gading dengan jarak gading 0.45 m. Pengukuran *control point* model kapal dilakukan dengan cara membagi panjang kapal menjadi 6 station (*longitudinal position*). Kemudian setiap station dibagi menjadi 3 buttock line (offset). Pada setiap station dan

masing-masing *buttock line* diukur tingginya hingga menyinggung lambung kapal (height).

Setelah memasukkan data yang ada pada dalam Maxsurf akan diperoleh gambar kapal dalam bentuk 3 dimensi. Untuk uji periode oleng dilakukan di dalam akuarium, di mana pada haluan dan buritan model diberikan tali agar sampan tetap berada pada kondisi diam ditengah. Selanjutnya agar model dapat oleng maka model diiniringkan dengan memberikan tali dibagian deck samping sampan. Selanjutnya tali digunting agar model sampan oleng dan berapa lama waktu yang dibutuhkan model untuk tegak kembali yang akan dihitung periode olengnya, Tabel 2.1

No	Pengulangan	Waktu yang dibutuhkan (detik)
1	1	1
2	2	1
3	3	2
4	4	2
5	5	1
Rata-rata		1.4

Tabel 2.1. Pengujian Oleng Model Kapal

Pengulangan dilakukan sebanyak 5 kali ulangan, sehingga dapat dilihat pada tabel 1. bahwa setiap ulangan memberikan waktu yang berbeda. Dimana, waktu tercepat menunjukkan pada ulangan 1,4 dan 5 yaitu 1 detik. Sedangkan pada ulangan 2 dan 3 menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk tegak kembali yaitu pada waktu 2 detik. Sehingga waktu yang dibutuhkan model sampan dengan *fin stabilizer* tidak melebihi dari 2 detik. Dengan demikian dapat dikatakan fin yang dipasang pada model sampan dapat berfungsi sebagai peredam olengan.

Periode oleng model kapal baik secara perhitungan manual (*prototype* kapal fiber) maupun perhitungan menggunakan simulasi numerik (Maxsurf) menyimpulkan bahwa kapal dengan *fin stabilizer* memiliki periode oleng yang lebih kecil dari kapal tanpa menggunakan *fin stabilizer*. Besar periode oleng pada kapal yang menggunakan *fin stabilizer* adalah 3.68 detik secara numerik, sedangkan besar periode oleng pada kapal tanpa fin stabilizer adalah 6.55 detik.

2.2. Roll Stabilization by Anti-roll Passive Tanks

Ahmed Abdel Gawad F. , Saad A. Ragab, Ali H. Nayfeh, Dean T. Mook
Departemen Teknik Sains dan Mekanika, MC 0219 Virginia Polytechnic
Institute dan State University, Blacksburg, VA 24061, USA Diterima 30
Agustus 1999; Disetujui 1 Desember 1999

Sistem tangki Anti-roll kembali pada teori Froude. Pada tahun 1874 Froude memasang ruang untuk air dibagian atas kapal dengan tujuan mencapai stabilisasi terhadap gerakan roll. Tidak ada lagi yang dilakukan dengan tangki anti-roll sampai sekitar 1910 ketika Frahm mulai menggunakan tangki U-tube. Sebelum Perang Dunia II, tank pasif Frahm ini adalah dipasang di lebih dari 1.000.000 ton dikapal-kapal Jerman, termasuk kapal penumpang Bremen dan Europa. Banyak peneliti mempelajari tangki anti-roll pada 1960-an dan 1970-an. Vasta et al. (1961) membuat review pembangunan Angkatan Laut dan instalasi tangki pasif. Mereka membuat persamaan gerak, membahas teknik Model, dan mengusulkan disain tangki. Stigter (1966) mempelajari stabilisasi roll dengan Tangki U-tube pasif. Dia membuat persamaan gerak fluida di dalam tangki dan membuat sambungan antara kapal dan tangki. Saat ini banyak peneliti menganggap persamaan gerak menjadi dasar klasik untuk studi tank U-tube.

Bell dan Walker (1966) menyelidiki dua jenis tank yang dikendalikan secara pasif. Pertama, kontrol dilakukan oleh katup di saluran air, dan kedua, kontrol dilakukan oleh katup di saluran udara. Mereka juga mengusulkan sistem tangki diaktifkan dengan baling-baling terus didorong dalam satu arah untuk menghemat daya. Webster (1967) memberikan studi rinci kontrol tangki tabung

U- dengan pompa-aktif. Dia menjelaskan bahwa Kontrol tangki terbaik dapat dipilih berdasarkan respon ininimal dari kapal ke kecepatan roll secara impulsif. Vugts (1969) merancang dan membandingkan empat tangki pasif untuk kapal yang sama.

Sebuah studi eksperimen membandingkan antara tabung U dan tangki pasif pada gelombang laut beraturan pada arah memanjang kapal dilakukan oleh Field dan Martin (1976). Lewison (1975) mengusulkan sebuah model matematis untuk mengoptimalkan desain bebas tangki pasif. Barr dan Ankudinov (1977) memberikan tinjauan kritis dari sejumlah metode prediksi untuk gerak roll dan pengurangan roll menggunakan tangki anti-roll. Webster et al. (1988) memberikan sebuah studi rinci bebas anti-roll yang kedap selama upgrade besar USS Inidway pada tahun 1986. Baru-baru ini, Lee dan Vassalos (1996) menyelidiki pengaruh hambatan aliran dalam tangki. Masalah menantang adalah untuk memperkirakan koefisien gerak roll (terutama redaman roll). Rincian koefisien ini adalah ditemukan oleh Dalzell (1978), Troesch (1981a, b) dan Mathisen dan Price (1984), Troesch (1981a, b) dan Mathisen dan Price (1984).

Sejumlah upaya yang besar telah dilakukan dalam mempelajari gerak roll nonlinear (yaitu gerak yang hanya dapat dijelaskan oleh persamaan nonlinear) dalam kondisi laut yang berbeda, seperti bekerja dengan Nayfeh dan Khdeir (1986a) untuk kapal simetris di laut dengan gelombang beraturan pada arah memanjang kapal, Nayfeh dan Khdeir (1986b) untuk kapal bias di dengan gelombang beraturan pada arah memanjang kapal, Nayfeh (1988) untuk kapal simetris lateral dengan gelombang beraturan pada arah depan atau belakang kapal, Gawthrop et al. (1988), Nayfeh dan Sanchez (1990) dan Sanchez dan Nayfeh (1990) untuk gelombang laut memanjang (yaitu gelombang puncak yang berorientasi pada sudut kanan tengah kapal), Nayfeh dan Oh (1995), dan Falzarano et al. (1995).

Dalam semua penelitian diatas, peneliti terkonsentrasi pada kedua manipulasi teoritis persamaan gerak atau pengujian model yang ada dan

menganalisis tank. Upaya kurang dilakukan untuk menghubungkan penyelidikan teoritis dengan tuntutan kondisi operasi kapal yang sebenarnya. Penelitian ini bertujuan memperluas penyelidikan teoritis untuk mengoptimalkan kinerja pasif tank U-tabung atas berbagai eksitasi frekuensi. Tangki U- Pasif memiliki keuntungan sebagai berikut: (a) tidak ada bagian bergerak; (B) membutuhkan sedikit perawatan; dan (c) menghindari tahanan kapal yang kecil yang dihasilkan oleh fin (sirip) dan bilge keel kapal. Di sisi lain, tangki cukup menempati volume lambung kapal, sehingga menciptakan masalah aksesibilitas. Permukaan bebas tangki mengurangi ketinggian metasentrik kapal, yang dapat menciptakan masalah stabilitas. Metode baru untuk pengaturan tangki telah ditemukan, pengaturan ini memiliki keunikan dan sangat penting dalam kondisi operasi yang nyata dimana beban kapal dan akibat frekuensi alaini mungkin sering berubah. Penggunaan pasif tank membutuhkan lokasi tertentu untuk mendapatkan nilai yang optimal dalam mengurangi gerakan roll yang terjadi pada kapal. Tangki tersebut juga harus memiliki disain khusus sehingga gerakan fluida yang ada didalamnya dapat terkontrol.

2.3. Perancangan Sistem Stabilisasi Rudder Roll pada Kapal Perang Kelas SIGMA dengan Kontrol Logika Fuzzy

Alfany Hardiyanty¹⁾, Aulia S.A¹⁾, dan A. A. Masroeri²⁾

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri 1)

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS

Surabaya

Pada penelitian ini, kontrol yang digunakan adalah kontrol logika fuzzy (KLF). Masukan yang digunakan adalah *errow yaw* (e) dan *yaw rate* (r). Keluaran dari KLF ini adalah sudut *rudder* yang kemudian menjadi masukan *rudder* untuk menggerakkan kapal sesuai dengan masukan sudut heading pada sistem. Terdapat dua input yang digunakan dalam KLF Sugeno-Takagi yaitu *error yaw* (e) dan *yaw rate* (r). Masing-masing input tersebut dirancang dengan tujuh fungsi keanggotaan segitiga. Fungsi keanggotaan segitiga bersifat lebih fleksibel terhadap perubahan

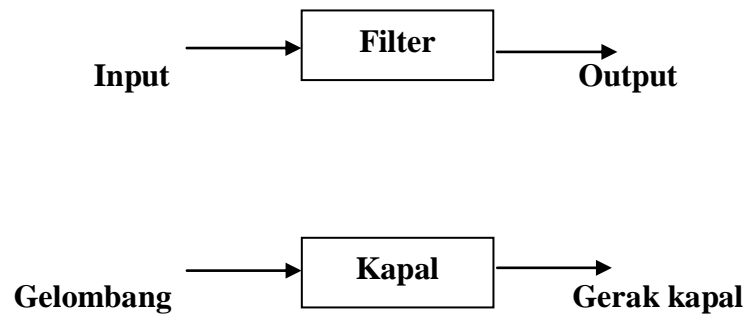
yang terjadi pada sistem. Pada fungsi keanggotaan NB dan PB digunakan fungsi keanggotaan trapesium untuk menghasilkan range input yang lebih lebar dan output yang lebih stabil. Input *error yaw* (e) memiliki rentang nilai -35o sampai 35o yang terdiri atas tujuh fungsi keanggotaan antara lain *Negatif Big* (NB), *Negatif Medium* (NM), *Negatif Small* (NS), *Zero* (Z), *Positif Small* (PS), *Positif Medium* (PM), dan *Positif Big* (PB). Input *yaw rate* (r) memiliki rentang nilai -7o/s sampai 7o/s yang terdiri atas tujuh fungsi keanggotaan antara lain *Negatif Big* (NB), *Negatif Medium* (NM), *Negatif Small* (NS), *Zero* (Z), *Positif Small* (PS), *Positif Medium* (PM), dan *Positif Big* (PB). Output KLF pada penelitian ini adalah sudut *rudder* dengan range -35o sampai dengan 35o. Output yang digunakan berbasis logika *fuzzy* Sugeno-Takagi dengan tujuh fungsi keanggotaan yang terdiri atas *Negatif Big* (NB), *Negatif Medium* (NM), *Negatif Small* (NS), *Zero* (Z), *Positif Small* (PS), *Positif Medium* (PM), dan *Positif Big* (PB).

Penentuan kaidah atur dibuat sesuai dengan jumlah fungsi keanggotaan input dan output. Penentuan basis aturan menggunakan *If...Then rule* dengan operator logika And. Pemakaian *rudder* sebagai antirolling pada kapal sangat efisien, karena tidak perlu menambahkan peralatan lain pada konstruksi kapal, sehingga tidak merubah performance dari kapal itu sendiri. Akan tetapi perawatan pada bagian *rudder* bersifat sangat krusial, mengingat penggunaan *rudder* yang cukup tinggi selain sebagai pengubah haluan kapal juga sebagai penyetabil gerakan kapal pada gerakan rolling. Dimana waktu beroperasi *rudder* menjadi lebih tinggi dikarenakan penambahan fungsi tersebut.

2.4. Teori Seakeeping

Seakeeping merupakan aspek dalam hidrodinamika yang mempelajari perilaku kapal diatas gelombang. Dengan kata lain *seakeeping* menunjukkan kemampuan kapal untuk mempertahankan fungsi dalam menjalankan misinya di laut, dimana kapal diumpamakan sebagai filter, kondisi lingkungan sebagai input dan gerak kapal sebagai outputnya (St Dennis and Pierson). Dengan kata lain

analisa seakeeping sangat tergantung pada informasi karakteristik gelombang dimana kapal akan dioperasikan.



Gambar 2.1. Analogi respon gerak dengan sistem filter.

Kemampuan kapal dalam menjalankan misinya dengan baik dapat ditunjukkan oleh kualitas gerak selama perjalanan atau yang disebut *Ride Quality*, yaitu merupakan indikasi dari kenyamanan pada sebuah kapal sebagai suatu kendaraan atau alat transportasi.

Kemampuan ini biasanya mengacu pada standar kriteria yang sudah banyak terdapat pada beberapa literatur. Kriteria-kriteria tersebut umumnya disusun berdasarkan informasi dan data pengalaman operator kapal yang meliputi kemampuan ketahanan awak kapal pada saat berada diatas kapal. Gerak dan percepatan gerak kapal yang berlebihan akan menyebabkan awak kapal dan penumpang mengalami mabuk laut atau terpentak saat melakukan aktifitas diatas kapal. Bahkan dalam kondisi ekstrim, kapal dapat mengalami *capsize* (terbalik) akibat gelombang tertentu.

Batasan mengenai kriteria unjuk kerja *Seakeeping* berhubungan dengan aspek khusus dari respon kapal terhadap kondisi laut seperti amplitudo gerak *roll/pitch/heave* pada titik tertentu diatas kapal. Setiap aspek gerakan, jika mempunyai nilai yang tinggi akan dapat memungkinkan unjuk kerja satu atau lebih elemen kapal mengalami degradasi sampai pada tingkat yang tidak wajar.

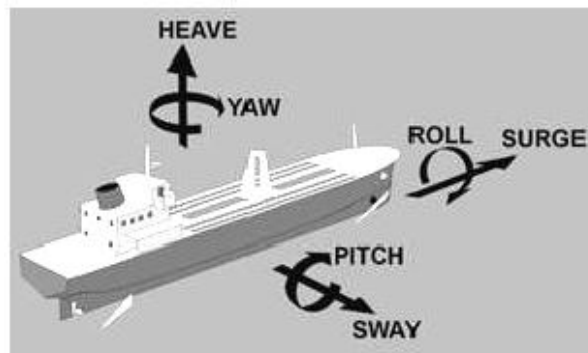
Berikut kriteria indeks unjuk kerja seakeeping yang ditetapkan oleh Olson dan Camstock.

Tabel 2.2. Kriteria Indeks Unjuk Kerja Seakeeping menurut Olson an Camstock et. al

Parameter	Olson (Naval)	Camstock et.al (monohull)
Maksimum Sudut Amplitudo Roll	19,2 derajat	8 derajat
Maksimum Sudut Amplitudo Pitch		3 derajat

2.4.1. Gerakan Kapal

Gerak sebuah kapal yang terapung dipermukaan hampir selalu berupa gerak isolasi. Beberapa jenis gerak kapal memperlihatkan gerak kapal dalam enam derajat kebebasan, dimana tiga diantaranya adalah gerak linear/*tranlatoris* dan tiga lagi berupa gerak rotasi, kesemua gerak tersebut berpedoman pada tiga sumbu (x,y,z) sebagaimana dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.2 Gambar gerakan kapal pada 6 derajat kebebasan

Gerak enam derajat kebebasan berdasarkan sumbunya adalah :

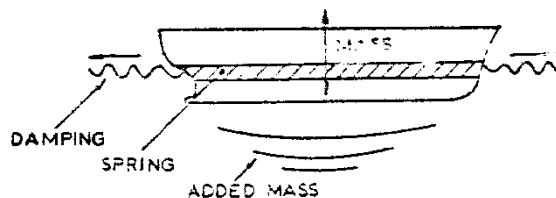
- Gerak surging/bujur, yaitu gerak horisontal pada arah sumbu x
- Gerak swaying/lintang, yaitu gerak horisontal pada arah sumbu y
- Gerak heaving/jungkit, yaitu gerak vertikal pada sumbu z
- Gerak rolling/oleng, yaitu gerak putar pada sumbu x

- Gerak pitching/ungkit, yaitu gerak putar pada sumbu y
- Gerak yawing/pusingan, yaitu gerak putar pada sumbu z

Dalam *seakeeping* terdapat tiga gerakan yang dominan yang mengandung komponen vertikal menimbulkan dampak perubahan displasemen. Oleh karena itu pada gerakan ini akan timbul gaya pengembali yang berusaha mengembalikan kapal pada posisi semula. Gerakan kapal yang tergolong dalam gerakan ini adalah gerak heaving, pitching dan rolling.

Gerak Heaving

Gerak heaving adalah gerak naik turunnya kapal pada arah sumbu z yang disebabkan oleh gaya pacu yang ditimbulkan oleh gelombang. Dalam persamaan gerak osilasi sederhana, terdapat empat elemen gaya penting yang bekerja pada gerak heaving.



Gambar 2.3. Skema dari gerak heave

Persamaan gerak bebas heaving dapat dituliskan sebagai berikut :

$$(m + a)\ddot{z} + b\dot{z} + cz = 0 \quad (I.1)$$

dimana : z = jarak pergerakan/perpindahan kapal

m = massa dari model kapal

a = penambahan masa (moment inersia)

b = damper / peredam

c = spring

sehingga persamaan gerak karena pengaruh gelombang :

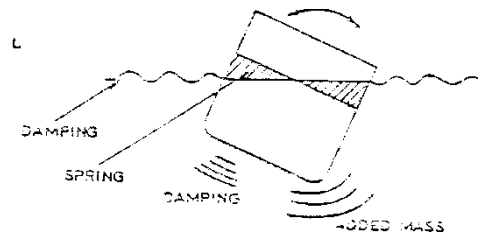
$$(m + a)\ddot{z} + b\dot{z} + cz = F(t) \quad (I.2)$$

$F(t)$ = gaya yang ditimbulkan karena pengaruh gelombang pada model kapal.

Gerak Rolling

Gerak rolling adalah gerak putaran kapal pada sumbu x, gerakan ini harus mendapat perhatian karena gerakan ini dapat menimbulkan sudut dinamis yang besar dimana energi atau gaya gelombang akan menimbulkan eksitasi rolling yang ekstrim pada frekuensi resonansi. Gerak rolling dapat digambarkan sebagaimana gambar dan persamaan gerak bebas rolling dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$(mk^2 + a)\ddot{\phi} + b\dot{\phi} + c\phi = 0 \quad (I.3)$$



Gambar 2.4. Skema dari gerak roll

dimana :

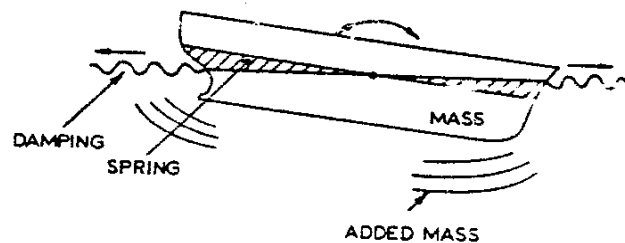
ϕ	=	sudut roll
m	=	massa dari model kapal
a	=	penambahan masa (moment inersia)
k	=	radius girasi model kapal

pengaruh gelombang pada model kapal.

Gerak Pitching

Sedangkan gerak pitching adalah gerak berputar kapal pada sumbu melintang y, yang disebabkan oleh gerak anggukan naik dan turunnya haluan maupun buritan kapal. Gerakan ini sangat bergantung pada kondisi gelombang,

kecepatan kapal dan arah kecepatan kapal terhadap gelombang. Gerak pitching juga merupakan gerak angular kapal yang dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.5 Skema dari gerak pitch

Adapun persamaan gerak bebas dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$(mk^2 + a)\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = 0 \quad (I.5)$$

dimana : θ = sudut pitch

m = massa dari model kapal

a = penambahan masa (moment inersia)

k = radius girasi model kapal (21-29% dari panjang kapal)

b = damper / peredam

c = spring

sehingga persamaan gerak karena pengaruh gelombang :

$$(mk^2 + a)\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = M(t) \quad (I.6)$$

dimana : $M(t)$ = moment gaya yang ditimbulkan karena pengaruh gelombang pada model kapal.

- **Persamaan Matematika Secara Umum**

Model persamaan matematika pada maneuver kapal meliputi beberapa sub-model yang terpisah diantaranya hull, propeller, rudder, engine and steering gear (e.g. Inoue et al.,1981a; Chislett, 1996). Setiap sub-model persamaan matematikanya diambil dari besarnya regresi dan formula yang dihasilkan oleh gaya dan momen yang bekerja.

Umumnya, persamaan matematika pada maneuver kapal berdasarkan atas persamaan Nomoto (Crane et al., 1989). Persamaan ini dapat digunakan untuk prediksi, collision–avoidance systems, dan auto-pilots. Namun, untuk memprediksi trayek kapal, persamaan ini harus dikombinasi dengan gerakan surge dan drift pada kapal.

Gerakan horizontal dari sebuah kapal karena pergerakan kemudi dapat dijelaskan dengan menggunakan model matematika sederhana. Persamaan orde satu Nomoto (1960), menggambarkan pendekatan sederhana tentang gerak manuver sebuah kapal.

Persamaan orde satu dari Nomoto digambarkan sebagai berikut :

$$T \cdot \ddot{\psi} + \dot{\psi} = K \cdot (\delta - \delta r)$$

$$T \dot{r} + r = K \cdot \delta$$

$$T \cdot \ddot{\psi} + \dot{\psi} = K \cdot \delta$$

Dimana $\ddot{\psi}$ = percepatan sudut yaw (deg/s^2)

$\dot{\psi}$ = kecepatan sudut yaw (deg/s)

ψ = sudut yaw (deg)

δ = sudut rudder (deg)

$\delta - \delta r$ = sudut rudder efektif (deg)

K = Konstanta proporsional ($1/s$)

T = Konstanta waktu (s)

- **Parameter Persamaan Matematika**

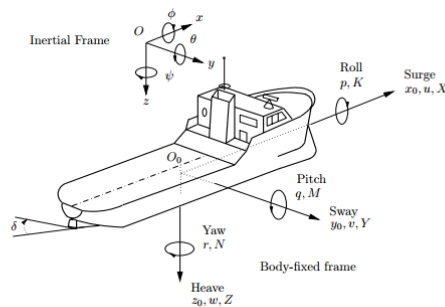
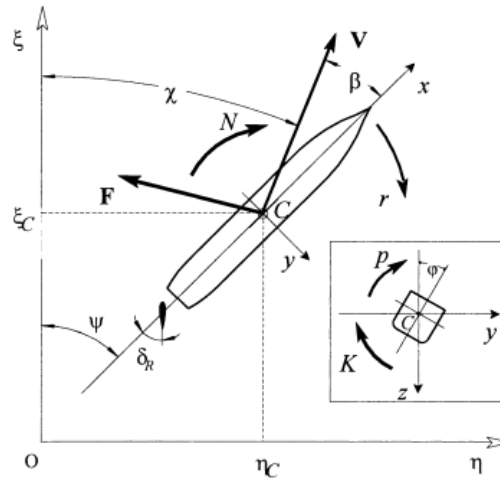


Figure 1: Standard notation and sign conventions for ship motion description (SNAME, 1950).

Gambar 2.6. Jenis Pergerakan Kapal (SNAME, 1950)

Berdasarkan gambar 2.6. bahwa kapal mengalami 6 jenis gerakan atau yang lebih dikenal dengan “*six-degree of freedom*” (6° kebebasan). Pergerakan ini menjadi parameter dalam menentukan pendekatan matematis pada proses maneuver termasuk didalamnya persamaan matematika rudder.



Gambar 2.7. Parameter utama pola pergerakan kapal (Sutula, 2002)

Berdasarkan gambar 4.5, pada proses heading dari co-ordinate vector berada pada sumbu y, $Y^T = (\xi_C, \eta_C, \Psi)$. Sedangkan, pada kelajuannya, v berada pada sumbu x dan y yang diproyeksikan dalam bentuk u dan v. Sehingga, 2 laju dan yaw pada vector kelajuannya adalah $X^T = (u, v, r, \dots)$ yang meliputi rudder angle, roll angle, rate of roll, propeller rotation rate, bergantung dari persamaan matematika yang akan digunakan.

- **Deskripsi Persamaan Matematika**

Asumsikan c merupakan pusat massa (G) pada kapal pada kelajuan $X = (u, v, r, \delta_R)^T$, maka masing-masing akan ditulis dalam persamaan umum:

$$m(\dot{u} - vr) = X$$

$$m(\dot{v} + ur) = Y$$

$$I_{zz}\dot{r} = N$$

$$\dot{\delta}_R = F_{\delta} \left(\frac{1}{T_R} (\delta^* - \delta_R), \delta_m, \epsilon_m \right)$$

m = massa kapal

I_{zz}	= Momen Inersia
X, Y, N	= komponen gaya dan momen dari surge, sway, yaw
δ_m, ϵ_m	= sudut maksimum defleksi rudder dan rata-rata sudut maksimum defleksi rudder
δ^*	= rudder order
T_R	= Steering gear time lag.
$F \delta(\cdot)$	= non-linear function accounting for limitations in the deflection angle and speed and for a possible dead zone in the steering gears' tracking system.

• Gaya-gaya yang bekerja pada Rudder

Berdasarkan persamaan diatas dapat diasumsikan gaya-gaya yang bekerja pada rudder sebagai berikut:

$$X_R = -(1 - t_R)F_N \sin \delta$$

$$Y_R = -(1 + a_H)F_N \cos \delta$$

$$N_R = -(x_R + a_H x_H)F_N \cos \delta$$

Dimana:

$X_R = X'_R L$ = jarak longitudinal rudder ke pusat kapal

Gaya normal pada rudder:

$$F_N = \frac{1}{2} \rho A_R f_x U_R^2 \sin \alpha_R$$

$$f_x = \frac{6.13 \Lambda}{(2.25 + \Lambda)}$$

$$U_R = \sqrt{u_R^2 + v_R^2}$$

$$\alpha_R = \delta - \tan^{-1} \left(\frac{-v_R}{u_R} \right)$$

$$u_R = \varepsilon(1 - w_P)u \sqrt{\mu \left\{ 1 + k(\sqrt{1 + (8K_T/\eta)^2} - 1) \right\}^2 + (1 - \eta)}$$

$$v_R = \gamma_R(v - r l_R)$$

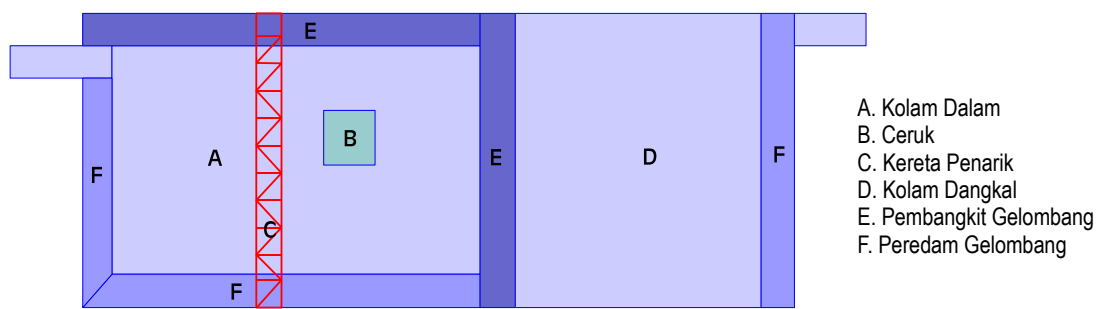
$$\varepsilon = \frac{1 - w_R}{1 - w_P}$$

2.5. Standar Prosedur Pengujian Seakeeping di Kolam Uji UPT BPPH Surabaya

2.5.1. Fasilitas dan Peralatan Pengujian Seakeeping

2.5.1.1. Kolam Uji

Pengujian Seakeeping dilakukan di kolam dalam Manouvering Ocean Engineering Basin (MOB) dengan ukuran (L x B x H) berturut-turut sebagai berikut 60 m x 35 x 2,5 m seperti pada gambar dibawah



Gambar 2.8. Sketsa Kolam Uji MOB

Kolam uji ini dilengkapi dengan peralatan pembangkit gelombang untuk membangkitkan gelombang tak beraturan (*irregular wave*) dan *wave absorber* untuk meredam gelombang pantul. Pada MOB terdiri dari beberapa wave board yang ditempatkan pada sisi longitudinal dan transversal. Pada longitudinal side terdiri atas 123 wave board dan pada transversal side terdiri 79 wave board. Gelombang paralel beraturan (pararel regular waves) pada tangki dalam (deep water basin) dihasilkan dengan cara menggerakkan wave board pada sisi longitudinal. Sedangkan untuk tangki dangkal, gelombang paralel beraturan dibangkitkan dengan cara menggerakkan wave board pada sisi transversal.

Untuk mendapatkan gelombang irregular pada kolam percobaan, spektrum gelombang dapat dibagi dalam beberapa bagian. Masing-masing bagian berupa komponen gelombang regular dimana mempunyai frekuensi dan amplitudo menurut posisi dan luasan dari masing-masing bagian tersebut.

Gelombang miring beraturan (*oblique regular waves*) dan gelombang miring acak (*oblique random waves*) pada tangki dalam dapat dibangkitkan dengan tiga cara yaitu :

- longitudinal wave board bergerak sendiri
- transversal wave board bergerak sendiri
- longitudinal dan transversal bergerak bersamaan (*coupled mode*)

Sedangkan gelombang miring pada tangki dangkal dibangkitkan dengan jalan menggerakkan transversal board.

Arah gelombang pada kolam percobaan dapat diatur sedemikian rupa karena memiliki penggerak, gelombang yang disebut “*snake type wave generator*” yang mana terdiri dari sejumlah wave board yang phase shiftnya dapat diatur.

Pada bagian sisi berlawanan dengan wave board terdapat *wave absorber* yang berfungsi untuk meredam gelombang datang sehingga tidak terpantul kembali menuju model uji.

2.5.1.2. Peralatan Pengujian Seakeeping

- **Instrumen**

Dalam pengujian seakeeping kapal cepat dilakukan pengukuran gerak kapal akibat gelombang dari berbagai arah sesuai kebutuhan. Dalam kaitan tersebut maka digunakan instrumen sebagai berikut :

- resistant wave probe
- qualisys

- **Sistem Pengkondisi Sinyal**

Sistem pengkondisi sinyal adalah suatu sistem yang terdiri dari sejumlah rangkaian elektronik (*amplifier, filter, interface* dll) digunakan untuk mengolah sinyal masukan yang dihasilkan dari sensor agar memiliki kualitas sinyal yang dapat diproses lebih lanjut oleh sistem komputer

- **Sistem Monitoring dan Penyimpanan Data**

Untuk memonitor setiap realtime sinyal pengukuran yang sedang berlangsung dan menyimpan data hasil pengukuran, digunakan Desktop yang dilengkapi dengan program LABView.

- **Representasi Sinyal Analog pada Sinyal Digital**

Pemasangan transduser dimodel digunakan untuk mendapatkan sinyal terukur dari perubahan tegangan yang diakibatkan oleh adanya gaya luar (mekanik-elektrik). Pada laboratorium hidrodinamika perubahan tegangan yang keluar dibatasi pada daerah tegangan – 10 volt sampai 10 volt, pada daerah ini setiap harga tegangan akan menunjukkan korelasinya dengan perubahan nilai dari besaran fisik. Besaran fisik terukur ini dinamakan dengan sinyal analog.

Karena sinyal analog merupakan besaran tegangan listrik yang memiliki sifat kontinyu baik terhadap waktu ataupun amplitudo dan supaya sinyal analog ini dapat diproses secara numerik, maka sinyal analog yang terukur harus dikonversikan kedalam bentuk diskrit (*analog to digital conversion*) melalui suatu rangkaian yang dinamakan analog to digital (ADC). Kandungan atau informasi nilai-nilai diskrit ini selanjutnya akan disimpan didalam memori komputer.

2.5.2. Distribusi Berat dan Inersia Momen

Sebelum pengujian, dilakukan pengaturan distribusi berat secara memanjang dilakukan dengan menggunakan peralatan ukur *swinging table*. Karakteristik distribusi berat kapal yang diwakili oleh data titik berat secara vertikal (KG) maupun memanjang (LCG) dan jari-jari girasi (kyy) diaplikasikan pada model kapal ini dengan menggunakan *swinging table*. Titik berat KG dan titik berat LCG yang mewakili prototip kapal dapat ditentukan dengan meletakkan posisi titik berat pada *pivot point swinging table*. Sedangkan jari-jari girasi memanjang dapat diperoleh dengan mengatur posisi ballast pada lokasi yang telah ditentukan atau diperkirakan sebelumnya.

2.5.3. Simulasi Gelombang dan Setting Model

2.5.3.1. Simulasi Gelombang

Dalam perancangan kapal, data tentang karakteristik (spektrum) gelombang berasal dari lingkungan dimana kapal akan dioperasikan. Dalam kaitan ini digunakan karakteristik gelombang yang mirip dengan daerah operasi di perairan Indonesia, yakni Pierson Moskowitz. Gelombang yang dipakai dalam pengujian ini adalah type Pierson Moskowitz dengan tinggi gelombang significant ($H^{1/3}$) = 1.70 meter, peak period (T_p) = 5.0 detik.

Spektrum gelombang tipe Pierson Moskowitz diformulasikan sebagai berikut:

$$S_{\zeta}(\omega) = \frac{H_s^2 T_z}{8\pi^2} \cdot \left(\frac{\omega T_z}{2\pi} \right) \exp \left\{ -\frac{1}{\pi} \left(\frac{\omega T_z}{2\pi} \right)^4 \right\} \quad (\text{II.1})$$

dimana :

ω = frekuensi sudut

ω_z = frekuensi zero crossing = $2\pi/T_z$

T_z = periode *zero crossing*

Tinggi gelombang significant didefinisikan sebagai berikut :

$$H_s = 4 \cdot \sqrt{\int_0^{\infty} S_{\zeta}(\omega) d\omega} = 4 \cdot \sqrt{m_{\zeta 0}} \quad (\text{II.2})$$

dimana $\sqrt{m_{\zeta 0}}$ merupakan luasan di bawah kurva spektra gelombang.

Simulasi gelombang adalah suatu hal yang sangat penting untuk diperhatikan dalam pelaksanaan pengujian model, karena gelombang merupakan media lingkungan yang besar pengaruhnya terhadap performance kapal dibanding media lainnya seperti angin, arus dan sebagainya.

Gelombang pada kolam percobaan dibangkitkan oleh wave generator yang dikontrol oleh suatu sistim komputer. Gelombang yang dihasilkan dari *wave*

generator tersebut diukur dengan alat yang disebut *wave probe* dan signal dari *wave probe* direkam oleh *magnetic tape*.

Gelombang random (acak) dapat digunakan melalui penjumlahan dari beberapa komponen gelombang regular sebagai fungsi sinusoida. Gelombang acak dapat digambarkan melalui tiga parameter yaitu :

- type spektrum
- tinggi gelombang signifikan
- puncak periode gelombang

Spektrum gelombang acak digunakan dengan cara distribusi energi dalam komponen-komponen gelombang sinusoida. Dalam mensimulasikan gelombang, *wave generator* pada kolam uji diatur sedemikian rupa sehingga dapat membangkitkan suatu spektrum gelombang yang diinginkan.

2.5.3.2. Setting Model

Dalam pelaksanaan pengujian model seakeeping kapal, dapat dilakukan dengan 2 skenario. Yang pertama yaitu model kapal diletakkan ditengah kolam dengan menggunakan 4 soft mooring. Masing-masing *soft mooring line* yang ditambatkan pada ujung haluan model dan pada ujung buritan model, akan dihubungkan dengan masing-masing *pole*. Masing-masing pole dilengkapi dengan *pulley* dan *spring*. Kemudian skenario berikutnya yaitu free running, dimana model bergerak secara bebas pada kolam uji dengan dikendalikan melalui sebuah remote controller.

2.5.4. Kalibrasi Alat

Sebelum dilakukan pengujian, maka instrumen yang digunakan harus dikalibrasi terlebih dahulu. Instrumen gyroyang digunakan untuk mengukur gerakan rotasi model kapal sudah memiliki sertifikat patent yang sudah dikalibrasi dari fabrikasi. Sedangkan *resistance wave probe* dibuat oleh UPT-BPPH dan telah dikalibrasi.

2.5.5. Prosedur Pengambilan Data Uji Seakeeping

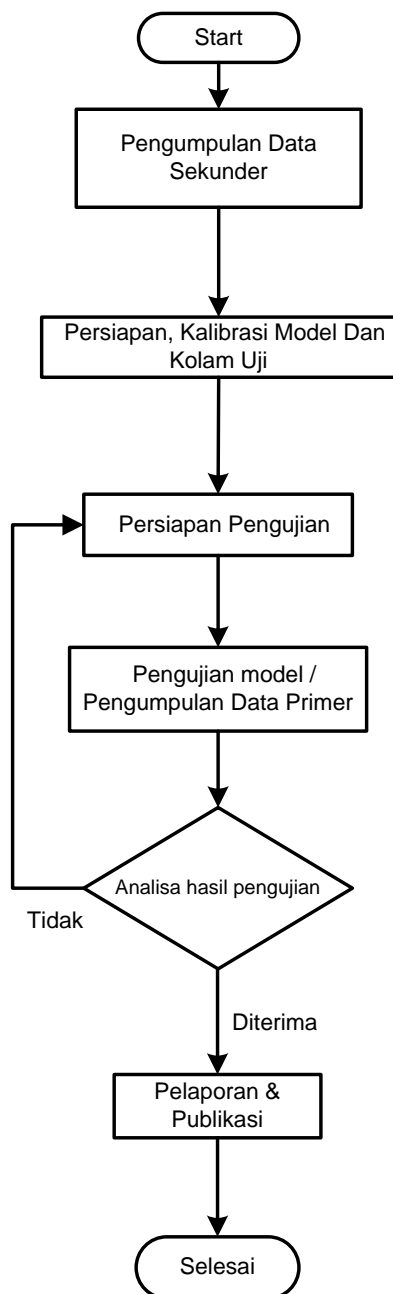
Data pengujian yang akan diambil adalah data gelombang yang diperoleh dari *wave height meter* dan data gerakan model kapal (*pitching* dan *rolling*) yang diperoleh dari *instrument gyro* serta dari kamera qualisys. Adapun pelaksanaan pengamibilan data pengujian, dilakukan sesuai dengan prosedur sebagai berikut :

- Seluruh instrumen pengujian telah diperiksa dan dikalibrasi pada bagian kalibrasi IHL melalui prosedur yang standar.
- Sebelum pengujian dilaksanakan untuk semua saluran pembacaan harus nol dan model telah berada diatas air tenang, kemudian pembangkit gelombang diaktifkan untuk beberapa saat atau beberapa lama untuk menghilangkan efek maya gelombang pada kolam uji.
- Pengambilan data pengukuran dilakukan sampai 1 cycle spektrum gelombang terpenuhi, dimana lama waktu pengukuran tidak boleh terlalu pendek namun tidak juga terlalu lama. Umumnya lama waktu pengukuran sedemikian rupa sehingga diperoleh kurang lebih 200 osilasi.

Prosedur pengujian seakeeping dapat digambarkan sesuai diagram alir pada gambar 2.9. dan dapat dijelaskan sebagai berikut :

Pada tahap awal dikumpulkan data sekunder dari klien berupa data utama kapal yang akan diuji beserta spesifikasi pengujian yang akan dilakukan. Selanjutnya dilakukan persiapan model kapal berupa pemasangan instrumentasi pengukuran pada model maupun kontrolnya. Juga persiapan kolam uji berupa pemasangan instrumentasi pengukuran berupa kamera Qualisys dan WHS untuk pengukur ketinggian gelombang. Selanjutnya dilakukan kalibrasi gelombang yang berfungsi mencocokkan hasil perhitungan gelombang yang diinginkan dengan hasil pengukuran gelombang yang telah dibangkitkan di kolam. Selain itu juga dilakukan penimbangan model kapal dan kalibrasi kecepatan model kapal. Setelah semua tahap tersebut selesai selanjutnya adalah persiapan pengujian di kolam uji secara keseluruhan berupa pengecekan alat ukur serta model yang akan diuji, bila semua telah siap dilanjutkan dengan pengujian model untuk mendapatkan data primer. Bila data primer telah didapat, dilanjutkan dengan menganalisa data

primer tersebut. Apabila hasil analisa terdapat kesalahan maka perlu diulang pengujian yang dilakukan dari tahap persiapan pengujian, dan bila hasil analisa sudah sesuai, maka pengujian tidak perlu diulang.

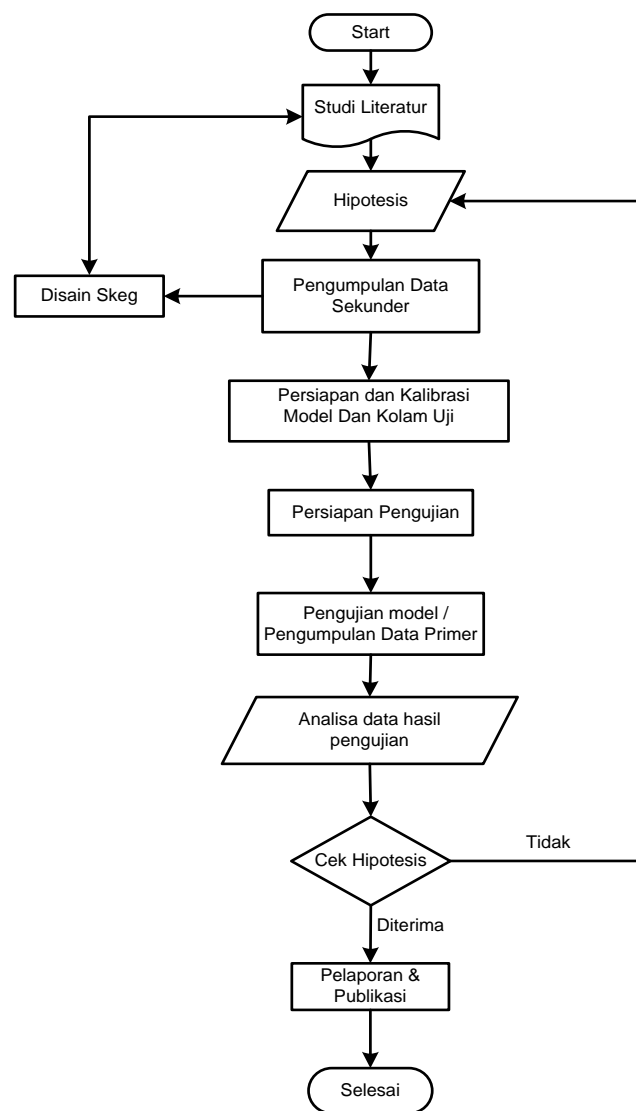


Gambar 2.9. Flowchart prosedur pengujian seakeeping di UPT BPPH Surabaya

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metode atau cara yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan yang terjadi dalam penelitian ini. Ada beberapa langkah yang akan dilakukan untuk itu, dan dapat diilustrasikan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Flowchart Metode Penelitian

Berikut akan dijelaskan langkah-langkah dari diagram alir gambar 3.1.

3.1. Perumusan Masalah

Bagian ini menjelaskan masalah yang akan dibahas, yaitu tentang penggunaan skeg sebagai salah satu metode untuk menambah kestabilan kapal. Beberapa macam sistem untuk mengurangi rolling yang terjadi pada kapal, seperti sistem tangki (U Tank) maupun sistem kemudi aktif serta sirip aktif. Untuk sirip aktif prinsipnya akan diterapkan pada skeg (skeg aktif), sehingga akan diketahui efek positif yang terjadi pada penggunaan sistem ini bila terjadi gangguan dari gelombang terhadap kestabilan kapal khususnya gerakan rolling.

3.2. Studi Literatur

Pada langkah ini dikumpulkan beberapa referensi baik berupa tulisan secara elektronik melalui internet maupun beberapa tulisan berupa buku, jurnal dan yang lainnya. Terutama yang berhubungan dengan permasalahan yang akan diteliti, antara lain tentang stabilitas kapal cepat pada kondisi laut bergelombang. Juga tentang rudder dan desainnya, serta desain skeg pada kapal cepat dan lain-lain. Juga dipelajari tentang cara penggunaan alat ukur yang akan digunakan dalam pengujian dari buku petunjuk yang telah disertakan.

3.3. Hipotesis

Dari permasalahan di atas, akan dilakukan percobaan pada sebuah model kapal cepat yang merupakan jenis kapal cepat yang dilengkapi skeg dengan membuatnya bisa bergerak (skeg aktif) seperti layaknya rudder. Penggunaan skeg aktif ini didasarkan dari beberapa keluhan pada pemakai kapal cepat yang merasakan berkurangnya umur pakai dari sistem kemudi (rudder system) yang juga digunakan untuk mengurangi gerakan rolling (anti rolling) yang terjadi, sehingga diharapkan kestabilan dari kapal dapat meningkat.

3.4. Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder antara lain diperoleh dari pemilik kapal yang berupa ukuran utama kapal cepat dan lain-lain, data dari gelombang yang akan dibuat dan dimodelkan, data berupa ukuran dan bentuk rudder serta data skeg. Dari data-data tersebut akan disandingkan dengan data yang didapat pada saat studi literatur, sehingga akan didapat disain dari skeg yang akan dimodifikasi secara fungsinya tanpa merubah bentuk skeg asal. Dari sini dapat diketahui disain skeg modifikasi yang dapat bergerak bebas sesuai yang diinginkan.

Sedangkan data gelombang akan digunakan untuk pembuatan gelombang secara model pada kolam uji pada skala tertentu yang telah ditentukan. Sehingga akan diperoleh gelombang yang dibuat tersebut mendekati sama dengan gelombang yang telah diukur pada kondisi sebenarnya.

3.5. Persiapan Dan Kalibrasi Model Serta Kolam Uji

Setelah mendapatkan data sekunder, dilakukan langkah selanjutnya yaitu mempersiapkan model uji berupa model kapal cepat yang akan dimodifikasi skeg nya menjadi skeg yang dapat diubah posisi sudutnya. Kemudian disiapkan peralatan penggerak model yang dapat dikontrol dari tepi kolam uji (remote), yang disesuaikan dengan pengujian yang akan dilakukan yaitu free running.

Selain menyiapkan model uji, juga perlu disiapkan kolam untuk pengujian model kapal itu sendiri. Ketinggian air kolam uji harus sesuai dengan kebutuhan, dimana air akan mengalami pengurangan level walaupun dalam jangka waktu yang cukup lama. Data sekunder dari gelombang yang akan digunakan saat pengujian kemudian digunakan untuk kalibrasi pembuatan gelombang pada kolam uji sehingga akan didapatkan gelombang yang dimodelkan. Pengukuran tinggi gelombang dilakukan dengan menggunakan alat pengukur gelombang (wave height sensor) yang diletakkan di tengah-tengah kolam uji. Tentu saja pembuatan gelombang ini telah melalui kalibrasi dari pembangkit gelombang itu sendiri, agar didapatkan hasil gelombang sesuai

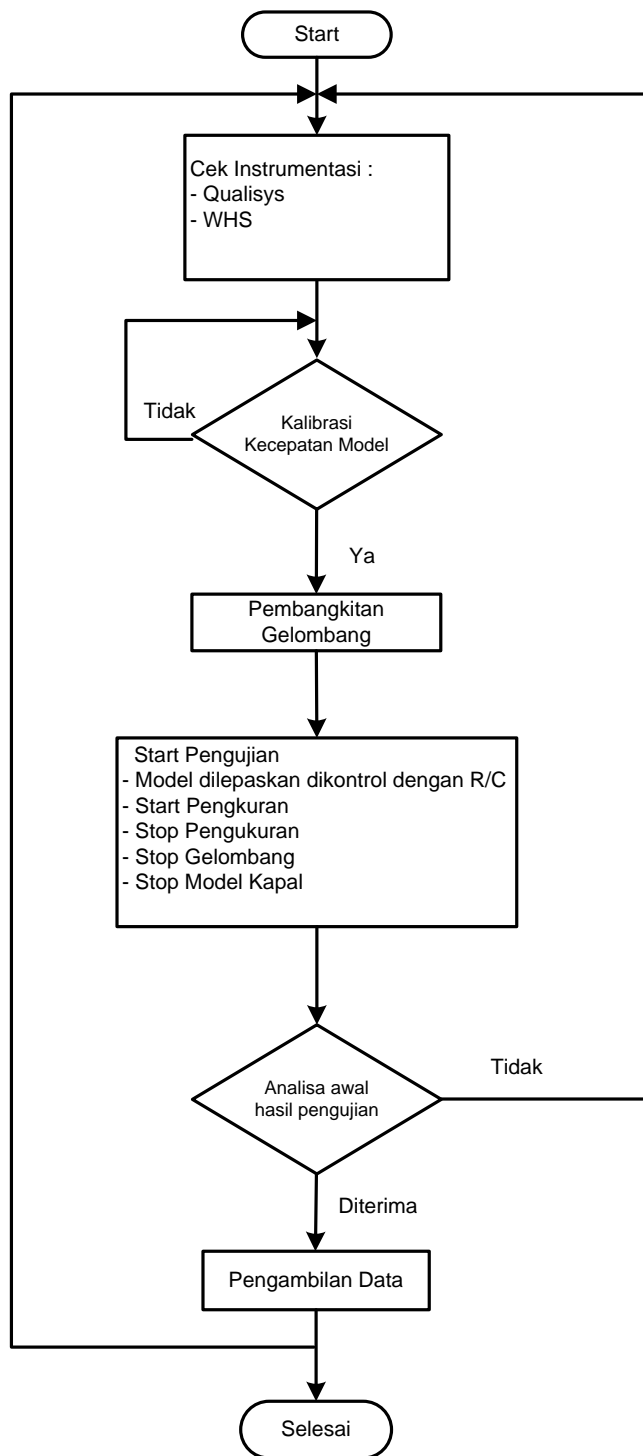
dengan data sekunder yang ada. Kalibrasi pembangkit gelombang dilakukan sebelum pembuatan gelombang itu sendiri.

3.6. Persiapan Pengujian

Sebelum pengujian dilakukan, ada beberapa hal yang perlu disiapkan, antara lain : pengesetan sensor berupa target untuk kamera qualisys pada model uji yang telah terpasang sehingga semua sensor tadi dapat bekerja dengan optimal. Kemudian dilakukan juga pengecekan sarat model kapal pada kolam uji sesuai garis garis air yang telah dibuat pada model kapal. Yang tak kalah pentingnya adalah pengujian decay (decay test) pada model kapal untuk memperoleh nilai periode natural dari model kapal saat terjadi gerakan roll. Kamera qualisys sebagai alat untuk mengukur gerakan model kapal juga harus dikalibrasi pada tahap ini, dimana kamera akan mendapatkan referensi ukuran model kapal secara 3 dimensi, sehingga pengukuran gerakan kapal dapat diperoleh seakurat mungkin

3.7. Pengumpulan Data Primer/Pengujian

Setelah semua persiapan diatas telah dilakukan, maka dapat dimulai pengujian yang bertujuan untuk mendapatkan data primer. Pengujian dilakukan dengan menggerakkan gelombang buatan dari arah samping model kapal (beam sea) maupun dari arah diagonal kolam uji (quartering sea). Pada saat pengujian ini gerakan dari model kapal ditangkap oleh alat ukur berupa kamera qualisys yang sensor-sensornya telah terpasang pada model kapal yang diuji. Selain mendapatkan data berupa gerakan kapal tadi juga akan didapatkan data berupa tinggi gelombang yang dibangkitkan dalam pengujian ini. Secara sederhana langkah pengujian model dapat digambarkan seperti gambar 3.2. :



Gambar 3.2. Flowchart pengujian seakeeping model kapal cepat

Semua instrumen pengukuran, baik kamera Qualisys maupun WHS sebagai pengukur ketinggian gelombang disiapkan dan dicek fungsinya. Kemudian model kapal dikalibrasi kecepatannya sesuai kebutuhan pengujian, yaitu 13 knot (0,8m/s). Kalibrasi ini bisa dilakukan beberapa kali untuk mendapatkan kecepatan model kapal yang tepat. Setelah kecepatan model kapal terpenuhi, dilanjutkan dengan pembangkitan gelombang sesuai data yang telah didapat sebelumnya pada saat kalibrasi gelombang. Langkah selanjutnya adalah melepaskan model kapal yang diuji, dan dilanjutkan dengan proses pengukuran pada kondisi 'free running'. Setelah mencapai ujung kolam maka pengukuran dihentikan, begitu pula dengan pembangkitan gelombang. Selanjutnya model kapal juga dihentikan atau dikembalikan posisinya pada posisi start awal. Hasil pengukuran diambil dari media penyimpan dan diserahkan ke bagian analisa data awal untuk diolah sebagai data awal agar diketahui apakah hasil pengujian dapat dilanjutkan untuk dianalisa lebih lanjut atau diulang pengujiannya. Bila bisa diterima maka hasil pengujian akan dilanjutkan untuk dianalisa lebih lanjut.

3.8. Analisa Data

Setelah pengujian dilakukan akan didapatkan data berupa data RAO (Response Amplitude Operator), dari data ini akan dibandingkan dengan data dari pengujian model kapal yang sama tetapi tanpa melakukan modifikasi pada skegnya, sehingga diperoleh sebuah data yang dapat membedakan keduanya. Data yang akan diambil adalah besar sudut rolling berdasarkan tabel 3.1 :

Arah Gelombang Posisi Skeg	90 deg	135 deg
Skeg 0 deg		
Skeg 10 deg		
Skeg 15 deg		
Skeg 20 deg		
Skeg 25 deg		

Tabel 3.1. Skenario Seakeeping Test Model Kapal Cepat

Dimana akan dilakukan pada kondisi 1 tinggi gelombang (H_w) 2,5m (sea state 4) dengan periode 7,5 sekon.

3.9. Cek Hipotesis

Setelah membaca hasil analisa yang telah dilakukan tersebut selanjutnya bisa disimpulkan apakah hipotesis yang ada pada awal sebelum dilakukan pengujian pada masalah yang dihadapi sudah sesuai ataukah belum sesuai, bila sudah sesuai bisa melanjutkan pada tahap selanjutnya yaitu tahapan pelaporan dan publikasi. Sedangkan apabila ternyata hasil analisa data masih belum sesuai dengan hipotesis awal, maka dapat dilakukan pengujian ulang dengan mempelajari kesalahan yang mungkin terjadi pada tahap sebelumnya, sehingga akan diperoleh hasil yang sesuai dengan hipotesis yang ada. Bila diketahui hasil yang sama setelah dilakukan pengecekan secara keseluruhan pada langkah pengujian yang telah dilakukan, dan semua langkah pengujian telah dilakukan dengan benar dan sesuai dengan prosedur, maka hasil akhir yang didapat merupakan hasil yang akan diambil walaupun nilai data tersebut tidak sesuai dengan hipotesis awal.

3.10. Pelaporan dan Publikasi

Tahapan ini akan dilakukan bila hasil dari pengujian yang dilakukan telah dianalisa dan direkam sebagai dokumentasi. Pelaporan ini disampaikan kepada pihak terkait mengenai hasil secara keseluruhan dari pengujian yang dilakukan, selain itu juga dilakukan publikasi dengan mengadakan seminar maupun penerbitan tulisan jurnal secara online baik didalam negeri maupun diluar negeri

BAB IV

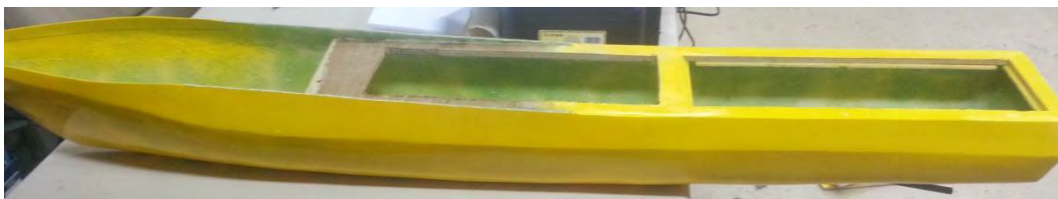
PENGUJIAN SEAKEEPING MODEL KAPAL CEPAT

4.1. Persiapan Model Kapal

Model kapal cepat yang digunakan pada pengujian ini memiliki ukuran utama sebagai berikut : (skala 70,86)

LOA	90	m	1,270	m
B	13	m	0,185	m
Dia Prop	3,3	m	0,047	m
vmax	28	Knots	1,711	m/s
vm	18	Knots	1,100	m/s
disp mod	1700	tons	4,661	kg
Draft	3,6	m	0,051	m

Tabel 4.1. Ukuran Utama Model Kapal



Gambar 4.1. Model Kapal Cepat

Model kapal cepat terbuat dari bahan fiber, dengan rangka kayu dengan warna dasar kuning. Untuk skeg dilakukan modifikasi (dipotong) sehingga dapat diatur sudutnya. Pengaturan skeg menggunakan sistem mekanik berupa sekrup dengan piringan yang memiliki ukuran sudut. Dapat dilihat pada gambar 4.2 dan gambar 4.3.

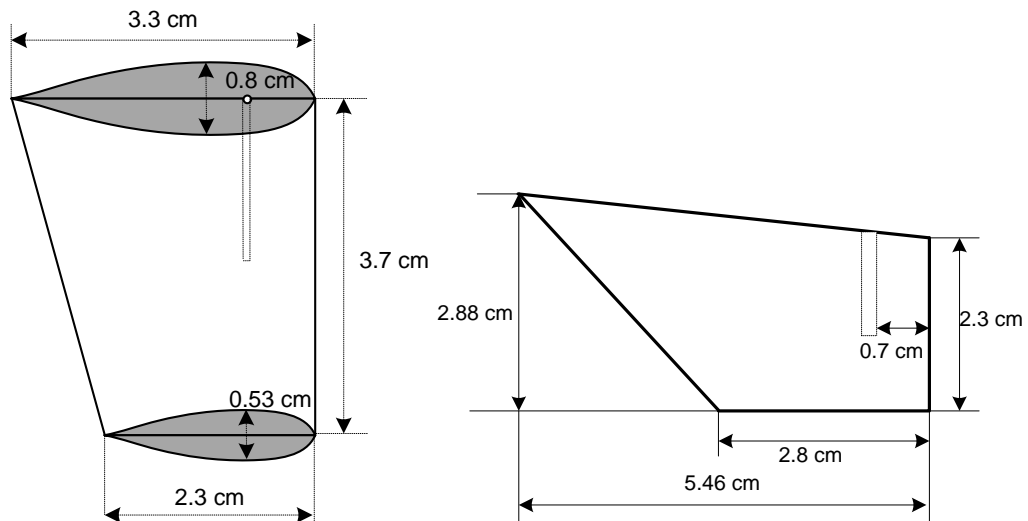


Gambar 4.2. Skeg yang telah dimodifikasi



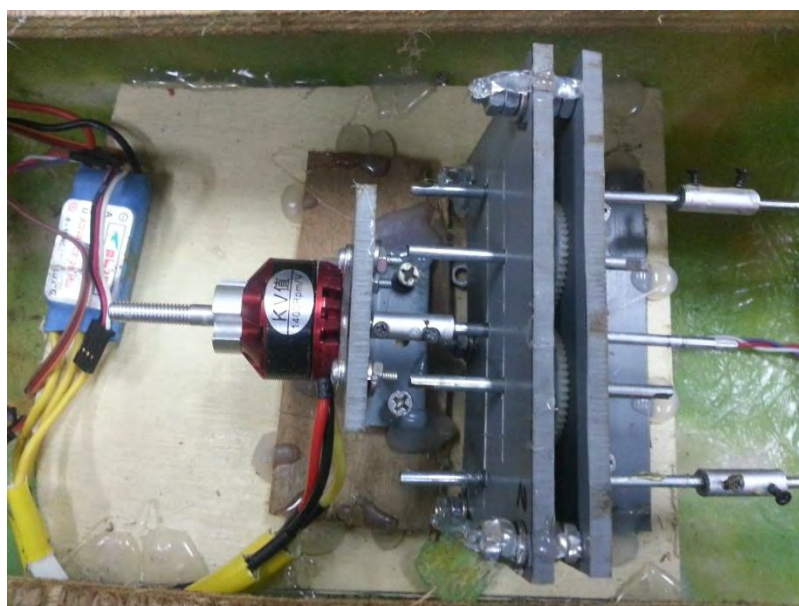
Gambar 4.3. Piringan Pengatur Skeg

Untuk ukuran dari skeg dapat dilihat pada gambar 4.4, (dibandingkan dengan ukuran daun kemudi/rudder)



Gambar 4.4. Ukuran daun kemudi dan skeg yang telah dipotong

Menggunakan 2 buah propeller dengan 1 penggerak (motor dc), sehingga digunakan gear box yang memiliki 1 input dengan 2 buah output.



Gambar 4.5. Gear box dengan Motor DC

Untuk kemudi sebanyak 2 buah menggunakan motor servo dc 2 unit seperti pada gambar 4.6.

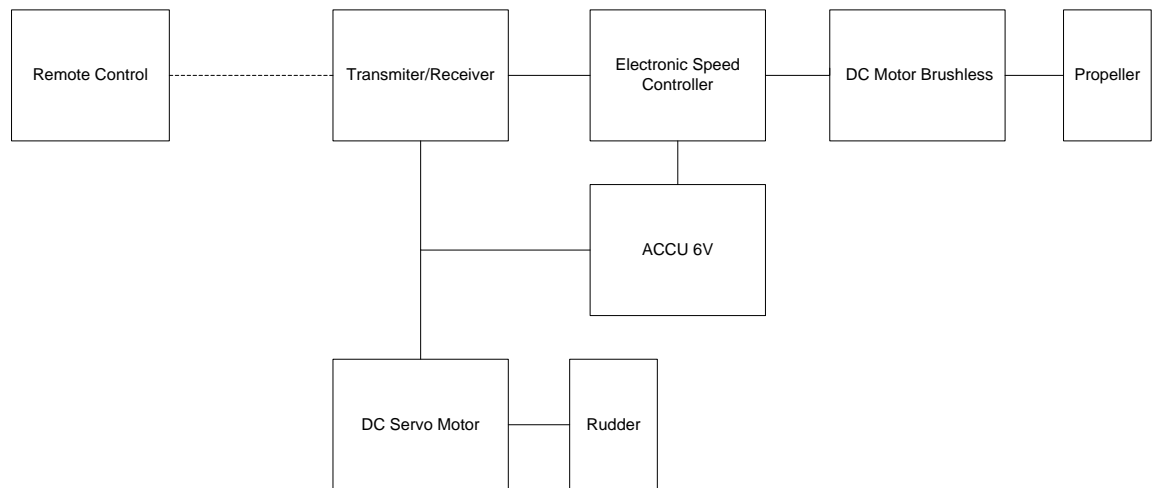


Gambar 4.6. Motor DC Servo untuk penggerak daun kemudi



Gambar 4.7. Daun Kemudi (rudder) dan Propeller

Secara keseluruhan sistem kontrol model kapal menggunakan remote control, untuk mengatur sudut kemudi dan putaran propeller. Secara sederhana dapat digambarkan seperti gambar 4.8.



Gambar 4.8. Blok Diagram Kontrol Model Kapal Cepat

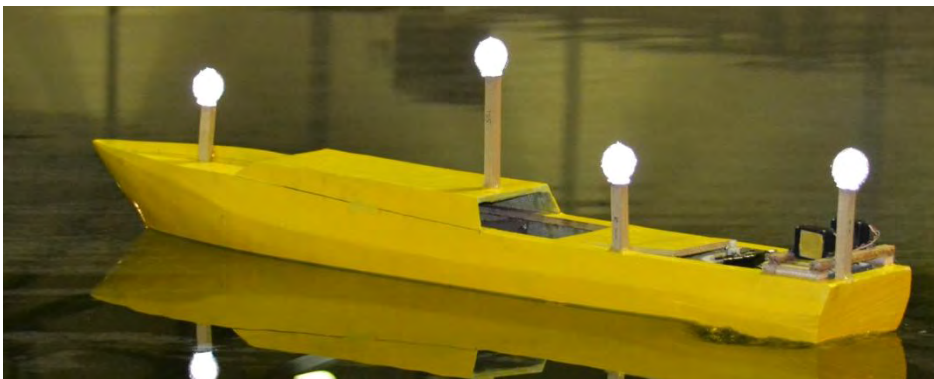
Remote Kontrol memberikan sinyal ke Transmitter/Receiver, sinyal yang dikirimkan tergantung chanel yang digunakan pada remote, 1-6 chanel tergantung kebutuhan. Untuk pengujian seakeeping ini hanya menggunakan 2 channel saja, yaitu untuk kontrol putaran propeller dan untuk kontrol gerakan rudder. Sinyal ini diteruskan ke Electronic Control Speed yang diteruskan ke DC Brushless Motor untuk menggerakkan Gearbox yang dihubungkan oleh shaft menuju propeller, atau langsung ke DC Servo Motor untuk menggerakkan daun kemudi/rudder. Secara keseluruhan kontrol pada model kapal menggunakan batre kering (ACCU) dengan tegangan 6V

Berat keseluruhan model kapal dengan peralatan kontrolnya adalah 3,9 kg, seperti pada gambar 4.9 pada saat penimbangan model kapal, sehingga untuk mencapai displacement kapal seberat 4,6 kg maka diperlukan penambahan berat dengan menggunakan ballast 0,7 kg (700 gram).



Gambar 4.9. Penimbangan Model Kapal

Selain kontrol untuk penggerak model kapal, juga dipasang sensor untuk menangkap gerakan kapal oleh kamera Qualisys. Sensor ini berbentuk seperti bola pingpong dengan permukaan yang terbalut dengan sebuah bahan yang dapat berflourescence/berpendar sehingga dapat tertangkap oleh kamera Qualisys dengan jarak yang cukup.



Gambar 4.10. Sensor Qualisys

Untuk memperoleh displacement yang dibutuhkan, maka perlu ditambahkan pemberat sebesar 700 gram. Setelah diperoleh displacement kapal yang sesuai, maka dilakukan pengaturan posisi pemberat sehingga kondisi kapal

berada pada posisi rata/evenkeel. Pengaturan ini dilakukan ditepi kolam uji dengan bantuan waterpass.



Gambar 4.11. Pengecekan level kapal (evenkeel)

Selanjutnya model diayun searah sumbu memanjang kapal, hal ini bertujuan untuk mengetahui periode gerakan roll model secara natural. Perekaman gerakan roll adalah menggunakan kamera Qualisys

4.2. Persiapan Kolam Uji

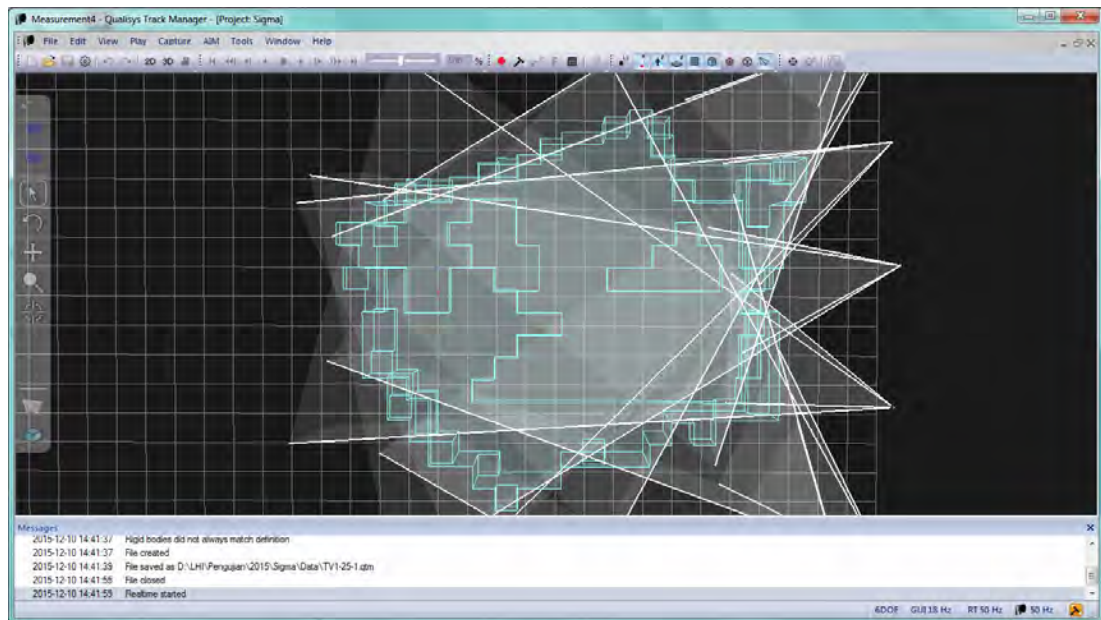
Untuk pengujian seakeeping pada kolam uji disiapkan beberapa alat ukur, antara lain pengukur tinggi gelombang (Wave Height Sensor), dan kamera Qualisys yang berfungsi menangkap gerakan model kapal yang telah dipasang sensor. Sensor WHS dipasang pada tengah kolam uji, dalam hal ini digunakan kolam uji dangkal. Untuk kamera Qualisys menggunakan 7 unit kamera, yang

terpasang pada sisi kolam uji, sehingga area kolam yang akan terlewati oleh model kapal yang diuji. Setelah kedua alat ukur ini siap pada posisinya, selanjutnya dilakukan kalibrasi.



Gambar 4.12. Posisi Kamera Qualisys pada Sisi Kolam Uji

Kamera Qualisys yang telah terpasang di tepi kolam uji akan merekam seluruh gerakan dari model kapal cepat yang terpasang sensor sesuai dengan jangkauan dari masing-masing kamera itu sendiri. Ini dapat dilihat pada sebuah laptop yang telah terhubung dengan seluruh kamera Qualisys yang telah terpasang. Adapun jangkauan dari keseluruhan kamera dapat digambarkan pada gambar 4.13



Gambar 4.13. Tampilan Jangkauan Kamera Qualisys pada Kolam Uji

Kalibrasi gelombang dilakukan untuk mengukur gelombang yang dihasilkan oleh pembangkit gelombang (Wave Generator), pada pengujian kali ini dibutuhkan gelombang reguler. Kalibrasi ini bertujuan untuk menyesuaikan hasil pengukuran dan hasil teori/perhitungan gelombang reguler yang diinginkan.



Gambar 4.14. Wave Height Sensor

4.3. Pengujian Seakeeping Model Kapal Cepat

Setelah persiapan pengujian tersebut dilakukan, maka tahap selanjutnya adalah pengujian model kapal cepat. Adapun spesifikasi pengujian yang dilakukan adalah :

Jenis Pengujian	: Seakeeping Test Free Running
Jenis Gelombang	: Reguler dengan 2 arah gelombang (90 dan 135)
Instrumentasi	: WHS dan Qualisys
Kontrol Model Kapal	: R/C 2 channel
Kecepatan Model	: 0,8 m/s (13 knots)

Sesuai prosedur pengujian seakeeping di kolam uji MOB UPT BPPH, pengujian dimulai dengan arah gelombang 90 deg. Dengan dipimpin seorang koordinator yang mengendalikan semua operator instrumentasi maupun kontrol pada kolam uji maupun kontrol pada model kapal. Adapun instruksi dari seorang koordinator pengujian memiliki urutan sebagai berikut :

- Cek Instrumentasi (WHS dan Qualisys) dan kontrol model
- Start Pembangkit gelombang
- Start Model Kapal
- Start Pengukuran
- Stop Pengukuran
- Stop Pembangkit Gelombang
- Stop Model Kapal

Demikian langkah seperti ini dilakukan, sesuai kebutuhan data yang akan diambil. Berikut foto-foto saat pengujian seakeeping :



Gambar 4.15. Pengujian Seakeeping Arah Gelombang 135 deg, dengan sudut Skeg 0 deg



Gambar 4.16. Pengujian Seakeeping Arah Gelombang 135 deg, dengan sudut Skeg 10 deg



Gambar 4.17. Pengujian Seakeeping Arah Gelombang 135 deg, dengan sudut Skeg 20 deg



Gambar 4.18. Pengujian Seakeeping Arah Gelombang 90 deg, dengan sudut Skeg 0 deg



Gambar 4.19. Pengujian Seakeeping Arah Gelombang 90 deg, dengan sudut Skeg 20 deg

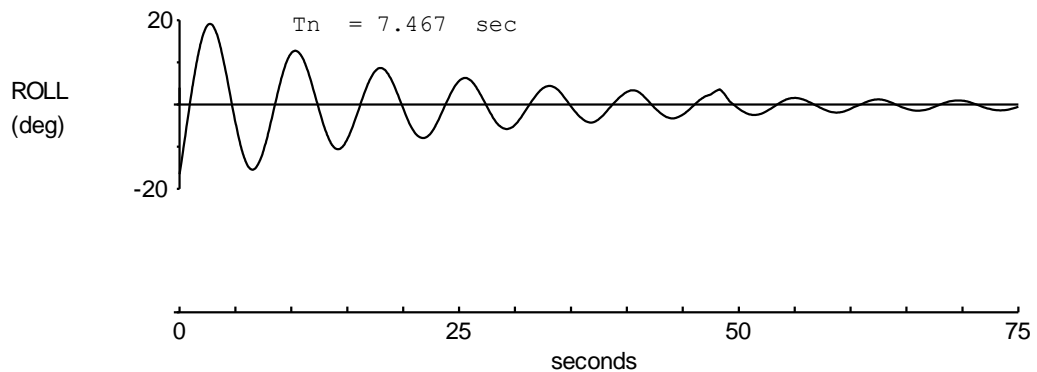
4.4. Hasil Pengujian

Semua hasil pengujian disimpan pada sebuah hard disk, dan kemudian diserahkan ke bagian analisa data. Dengan menggunakan software MatLab, data hasil pengujian dianalisa sehingga dapat terbaca sesuai kebutuhan.

Berikut data hasil pengujian seakeeping model kapal cepat :

4.4.1. Roll Decay Test

DECAY TEST



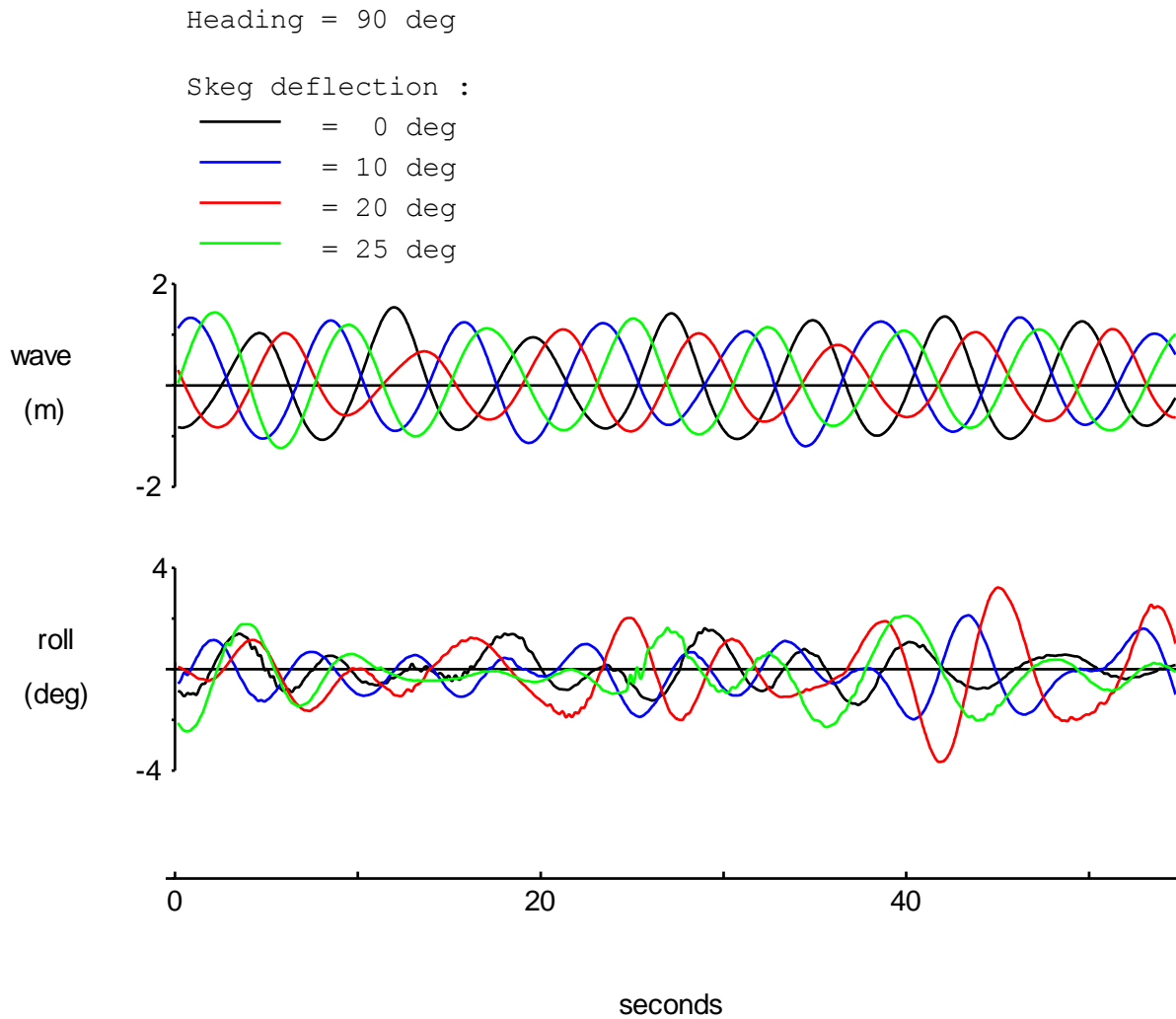
Gambar 4.20. Hasil Pengujian Roll Decay

Dari gambar 4.20. dapat terlihat bahwa waktu untuk gerakan roll yang dilakukan secara natural (natural roll period T_n) adalah = 7.467 sec. Pengukuran ini dilakukan pada kolam uji dengan kondisi air tenang.

4.4.2. Seakeeping Test Arah Gelombang 90 deg

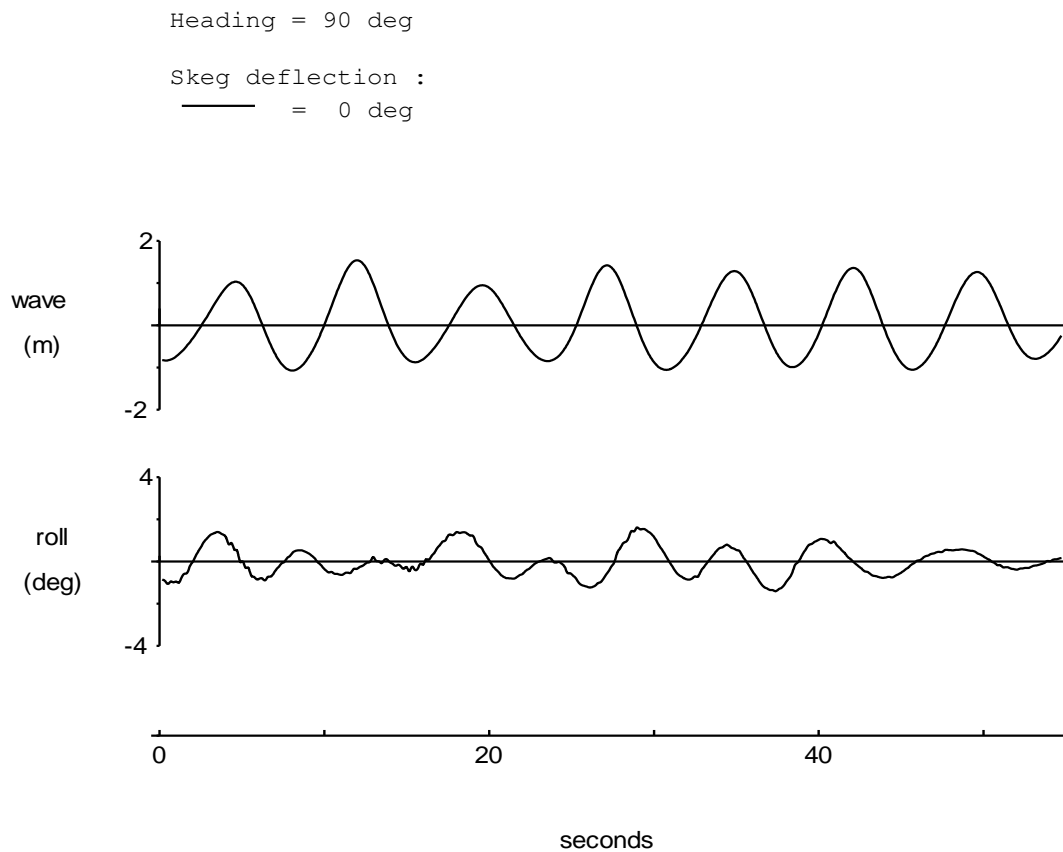
Berikut adalah hasil uji seakeeping dengan arah gelombang 90 deg dengan kecepatan model 0,8 m/s (13 knots). Gambar 4.21 bagian atas menunjukkan tinggi gelombang reguler yang terukur, pada masing-masing sudut skeg yang bervariasi sesuai notasi warna yang digambarkan. Sedangkan untuk gambar dibawahnya adalah besarnya sudut roll yang terjadi pada masing-masing sudut skeg yang

divariasikan, mulai 0 deg, 10 deg, 20 deg dan 25 deg. Semua gambar yang ditampilkan berdasarkan time history (seconds)



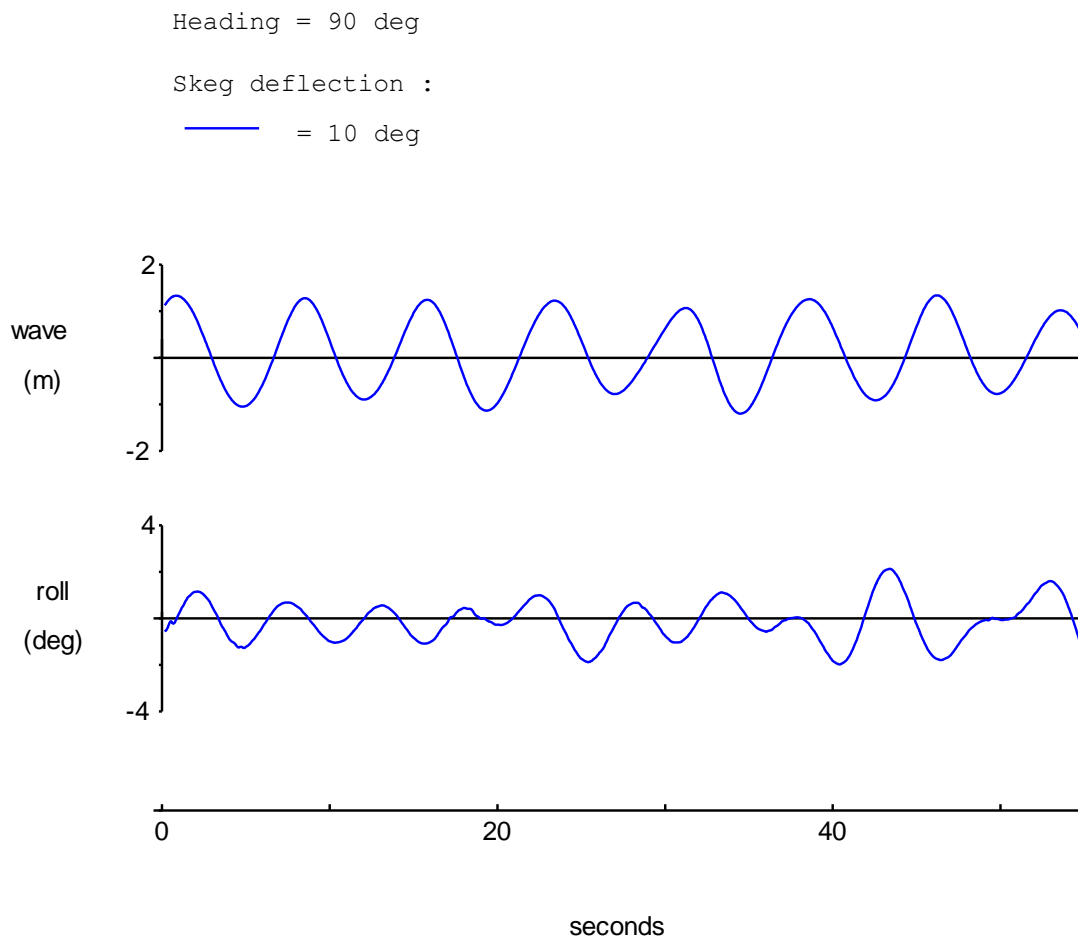
Gambar 4.21. Hasil uji seakeeping arah gelombang 90 deg dengan variasi sudut skeg

Untuk masing-masing sudut skeg akan dijelaskan pada gambar selanjutnya.



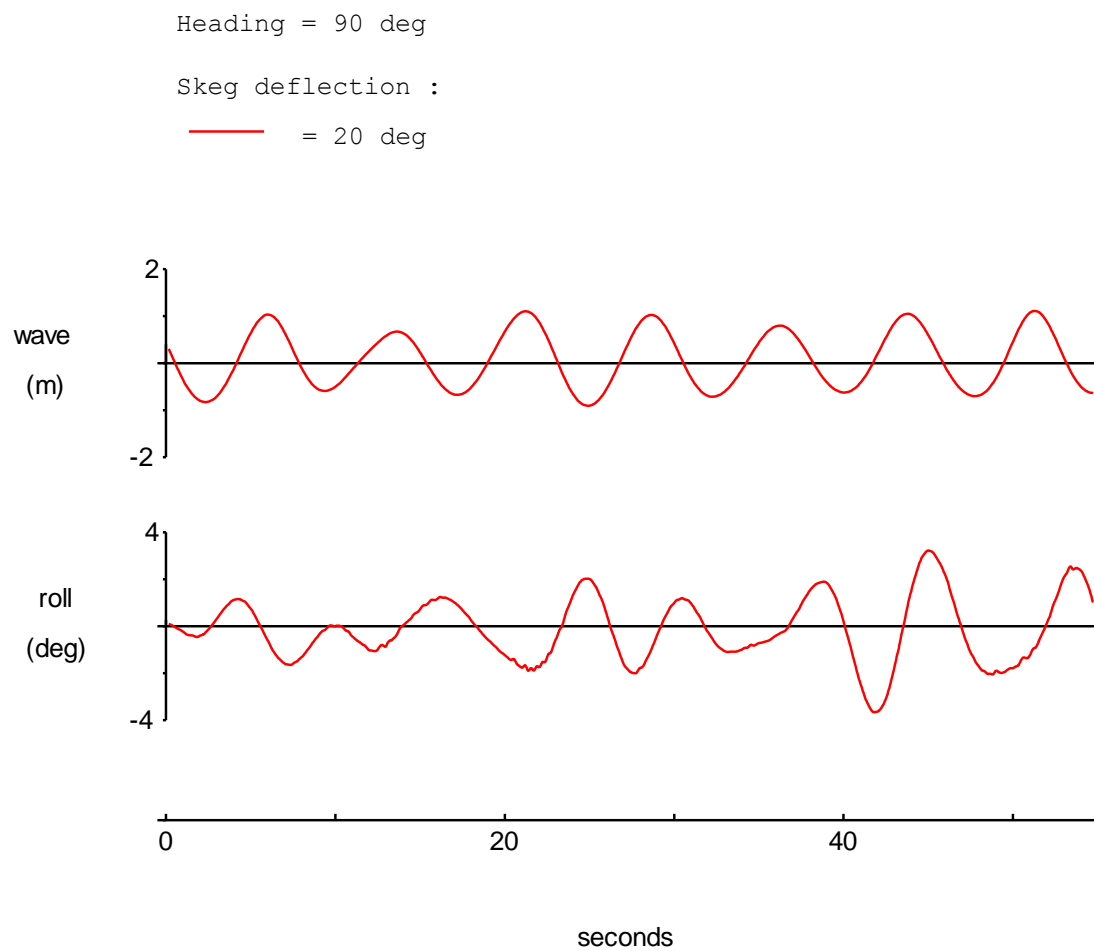
Gambar 4.22. Hasil uji seakeeping arah gelombang 90 deg, sudut skeg 0 deg

Dari gambar 4.22. terlihat gelombang yang terukur pada saat sudut skeg 0 deg dengan arah gelombang 90 deg. Untuk gambar berikutnya adalah sudut roll yang terukur pada model kapal saat skeg pada posisi 0 deg.



Gambar 4.23. Hasil uji seakeeping arah gelombang 90 deg, sudut skeg 10 deg

Dari gambar 4.23. terlihat gelombang yang terukur pada saat sudut skeg 10 deg dengan arah gelombang 90 deg. Untuk gambar berikutnya adalah sudut roll yang terukur pada model kapal saat skeg pada posisi 10 deg.



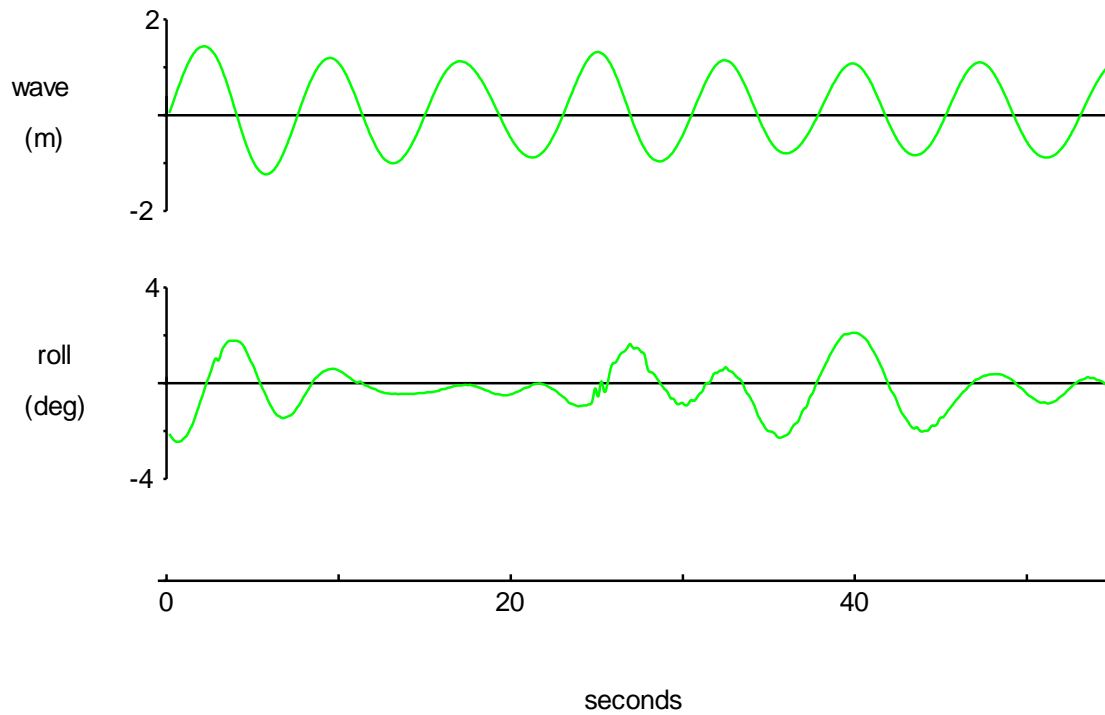
Gambar 4.24. Hasil uji seakeeping arah gelombang 90 deg, sudut skeg 20 deg

Dari gambar 4.24. terlihat gelombang yang terukur pada saat sudut skeg 20 deg dengan arah gelombang 90 deg. Untuk gambar berikutnya adalah sudut roll yang terukur pada model kapal saat skeg pada posisi 20 deg.

Heading = 90 deg

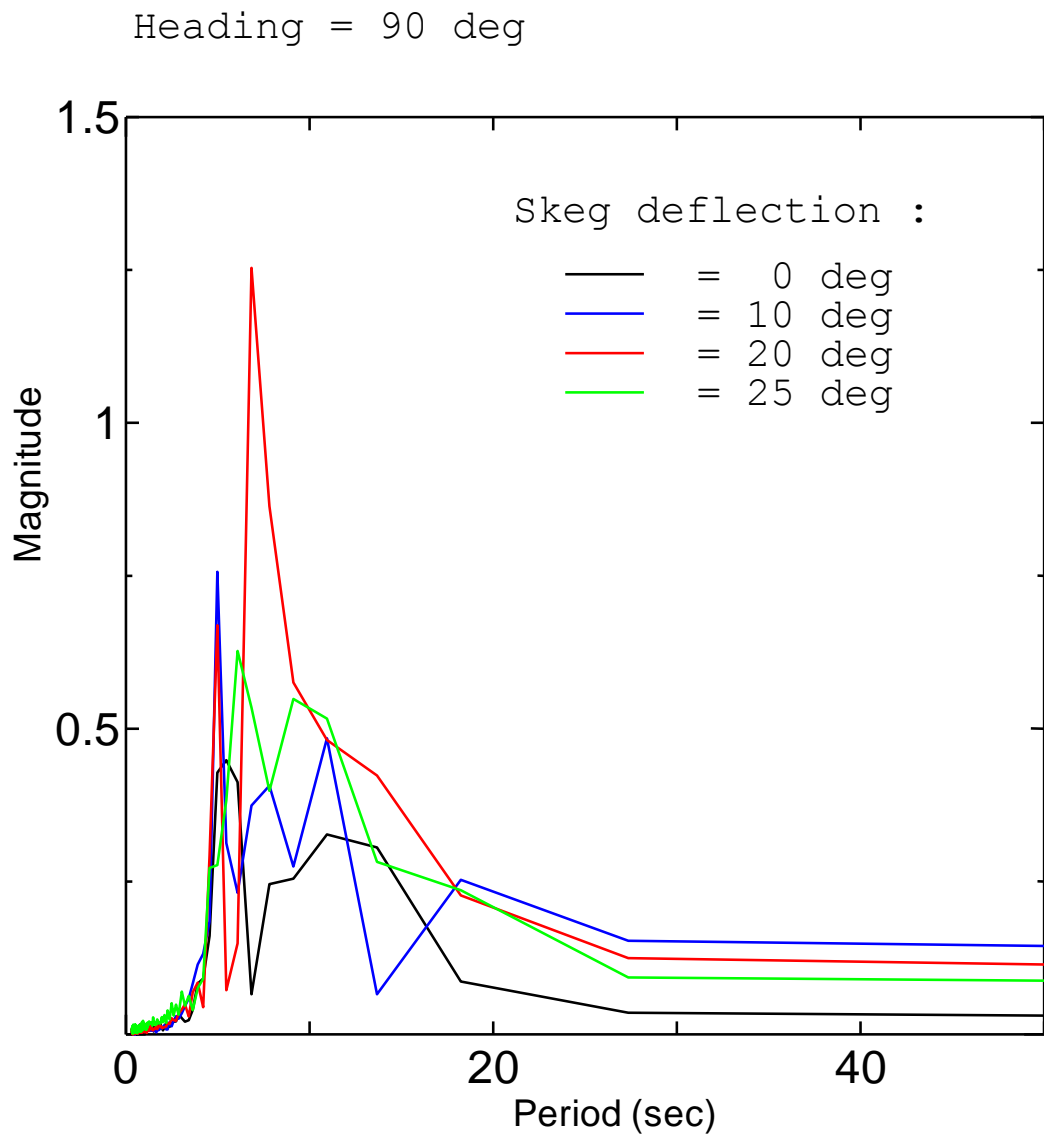
Skeg deflection :

— = 25 deg



Gambar 4.25. Hasil uji seakeeping arah gelombang 90 deg, sudut skeg 25 deg

Dari gambar 4.25. terlihat gelombang yang terukur pada saat sudut skeg 25 deg dengan arah gelombang 90 deg. Untuk gambar berikutnya adalah sudut roll yang terukur pada model kapal saat skeg pada posisi 25 deg



Gambar 4.26. Roll Spektrum arah gelombang 90 deg, sudut skeg bervariasi

Gambar 4.26. menunjukkan luas energi roll spektrum yang terjadi pada masing-masing variasi sudut skeg adalah sebagai berikut :

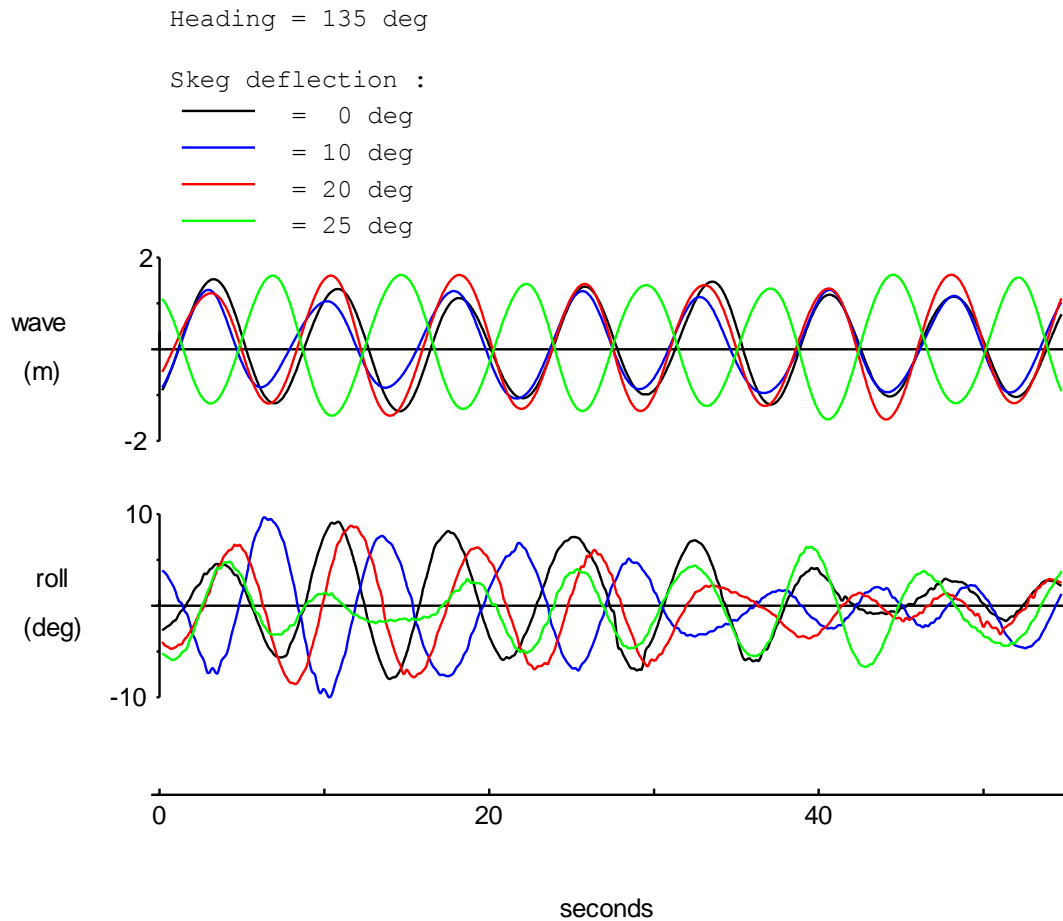
Sudut Skeg (deg)	Luas
0	5.1300
10	9.9318
20	11.6476
25	9.4989

Tabel 4.2. Luas Spektrum Roll Energi arah gelombang 90 deg

Perhitungan luas dari besarnya energi roll spektrum ini didasarkan pada hasil gelombang reguler yang dihasilkan adalah tidak benar-benar reguler (murni sinusoidal), sehingga untuk memudahkan perhitungan dan analisisnya digambarkan seperti gambar 4.26 tersebut. Adapun pada detik tertentu (sekitar detik ke 7) terjadi kenaikan energi roll yang besar ini dikarenakan gelombang yang terjadi hampir sama dengan natural period dari model kapal (7,467 sec sesuai dengan roll decay test yang telah dilakukan) dan juga berhimpit dengan frekuensi dari gelombang reguler yang dibangkitkan ($T_w = 7,5$ s)

4.4.3. Seakeeping Test Arah Gelombang 135 deg

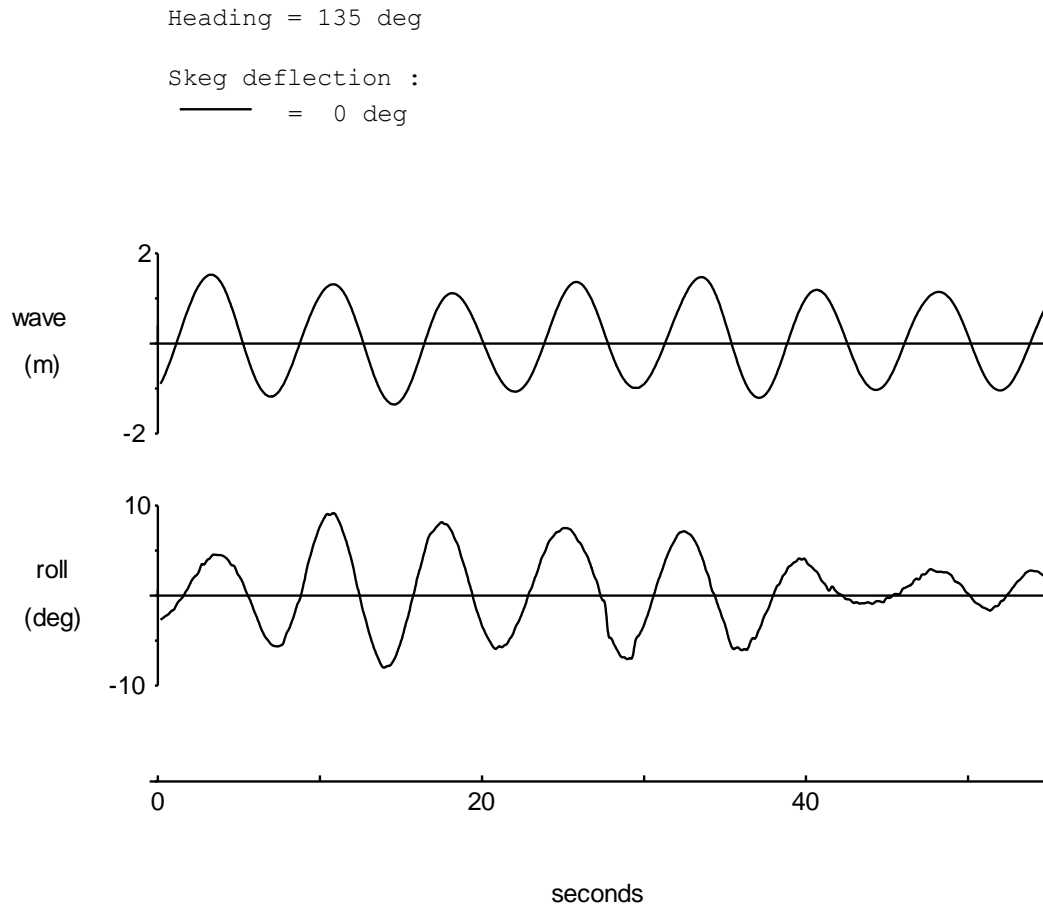
Untuk hasil pengujian seakeeping dengan arah gelombang 135 deg adalah sebagai berikut :



Gambar 4.27. Hasil uji seakeeping arah gelombang 135 deg dg variasi sudut skeg

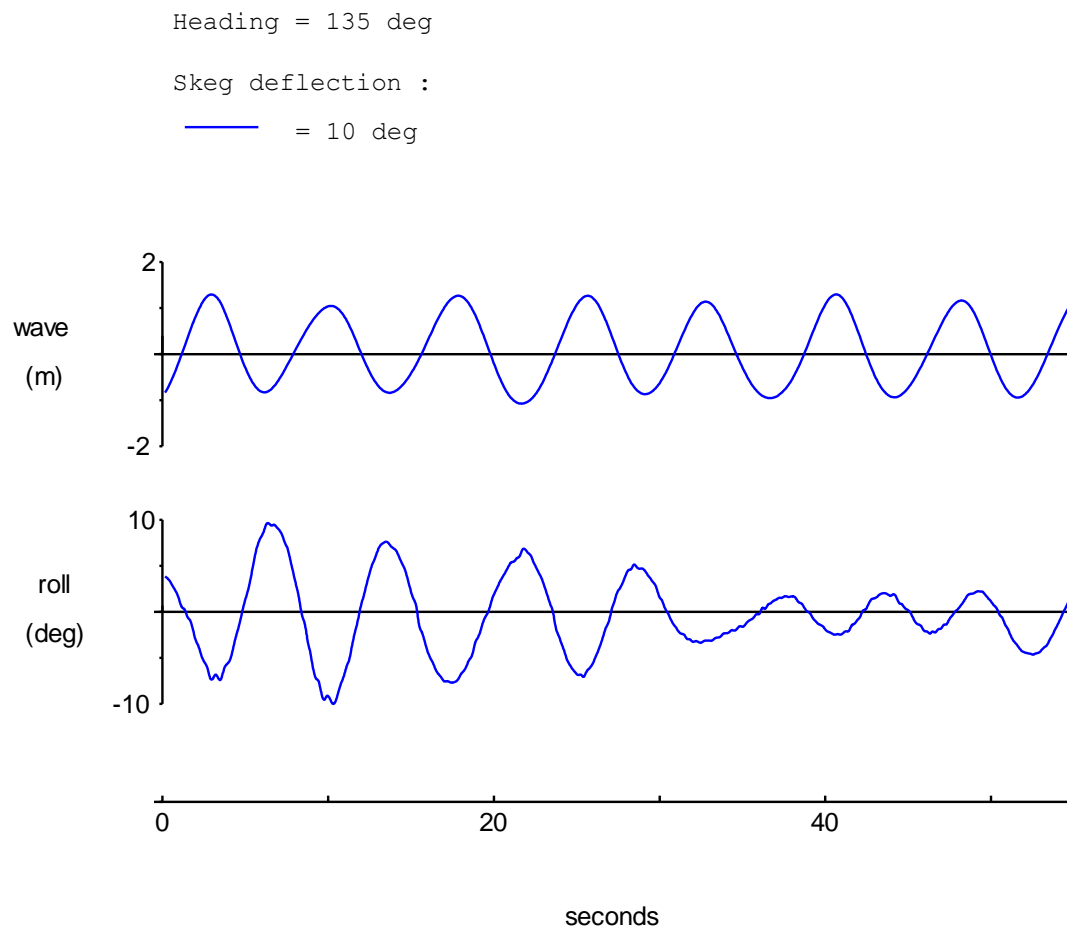
Hasil uji seakeeping dengan arah gelombang 135 deg dengan kecepatan model 0,8 m/s (13 knots). Gambar 4.27. pertama menunjukkan tinggi gelombang reguler yang terukur, pada masing-masing sudut skeg yang bervariasi sesuai notasi warna yang digambarkan. Sedangkan untuk gambar 4.27 berikutnya adalah besarnya sudut roll yang terjadi pada masing-masing sudut skeg yang divariasikan, mulai 0 deg, 10 deg, 20 deg dan 25 deg. Semua gambar yang ditampilkan berdasarkan time history (seconds)

Untuk masing-masing sudut skeg akan dijelaskan pada gambar selanjutnya.



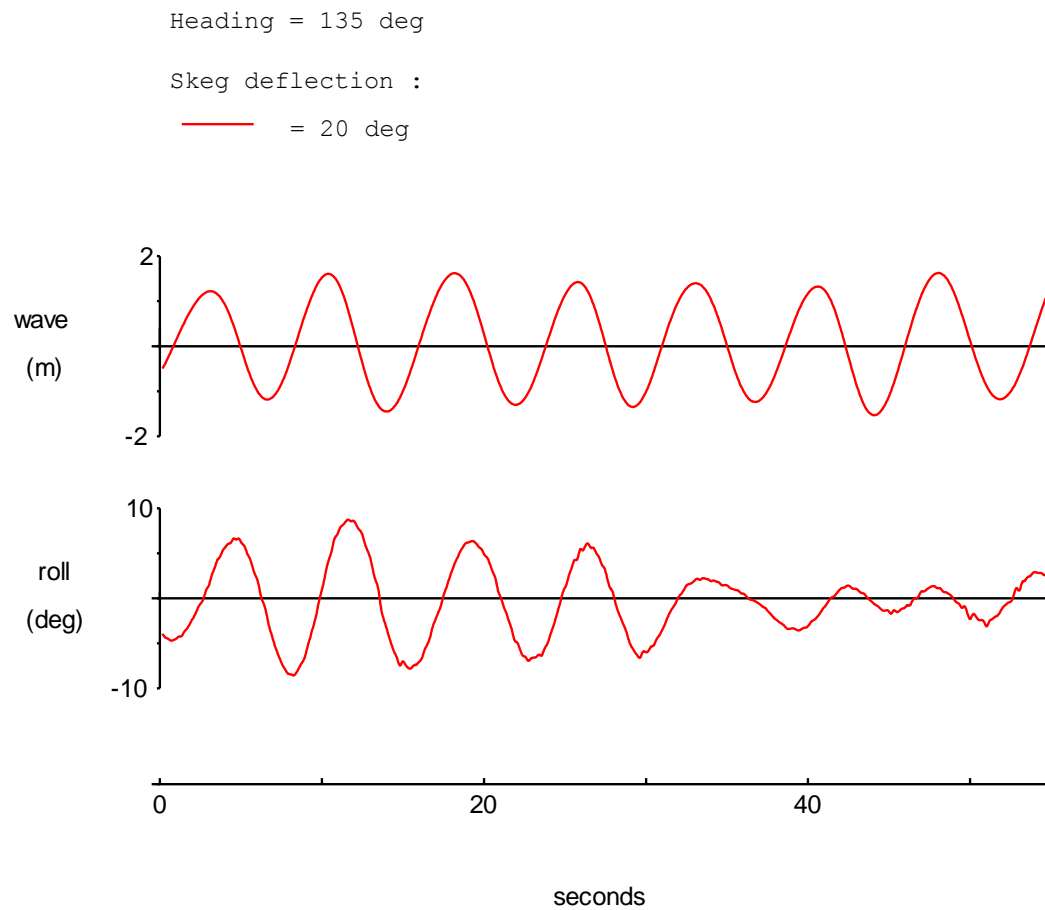
Gambar 4.28. Hasil uji seakeeping arah gelombang 135 deg, sudut skeg 0 deg

Dari gambar 4.28. terlihat gelombang yang terukur pada saat sudut skeg 0 deg dengan arah gelombang 135 deg. Untuk gambar berikutnya adalah sudut roll yang terukur pada model kapal saat skeg pada posisi 0 deg



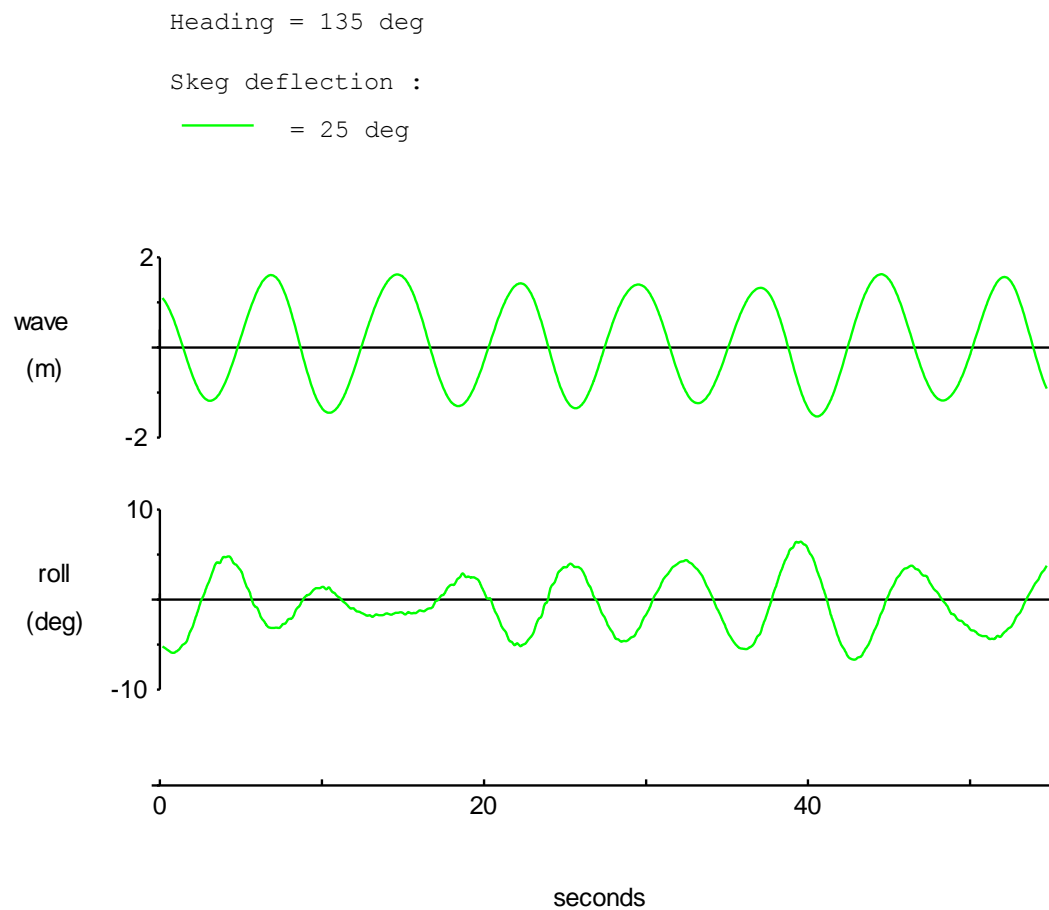
Gambar 4.29. Hasil uji seakeeping arah gelombang 135 deg, sudut skeg 10 deg

Dari gambar 4.29. terlihat gelombang yang terukur pada saat sudut skeg 10 deg dengan arah gelombang 125 deg. Untuk gambar berikutnya adalah sudut roll yang terukur pada model kapal saat skeg pada posisi 10 deg.



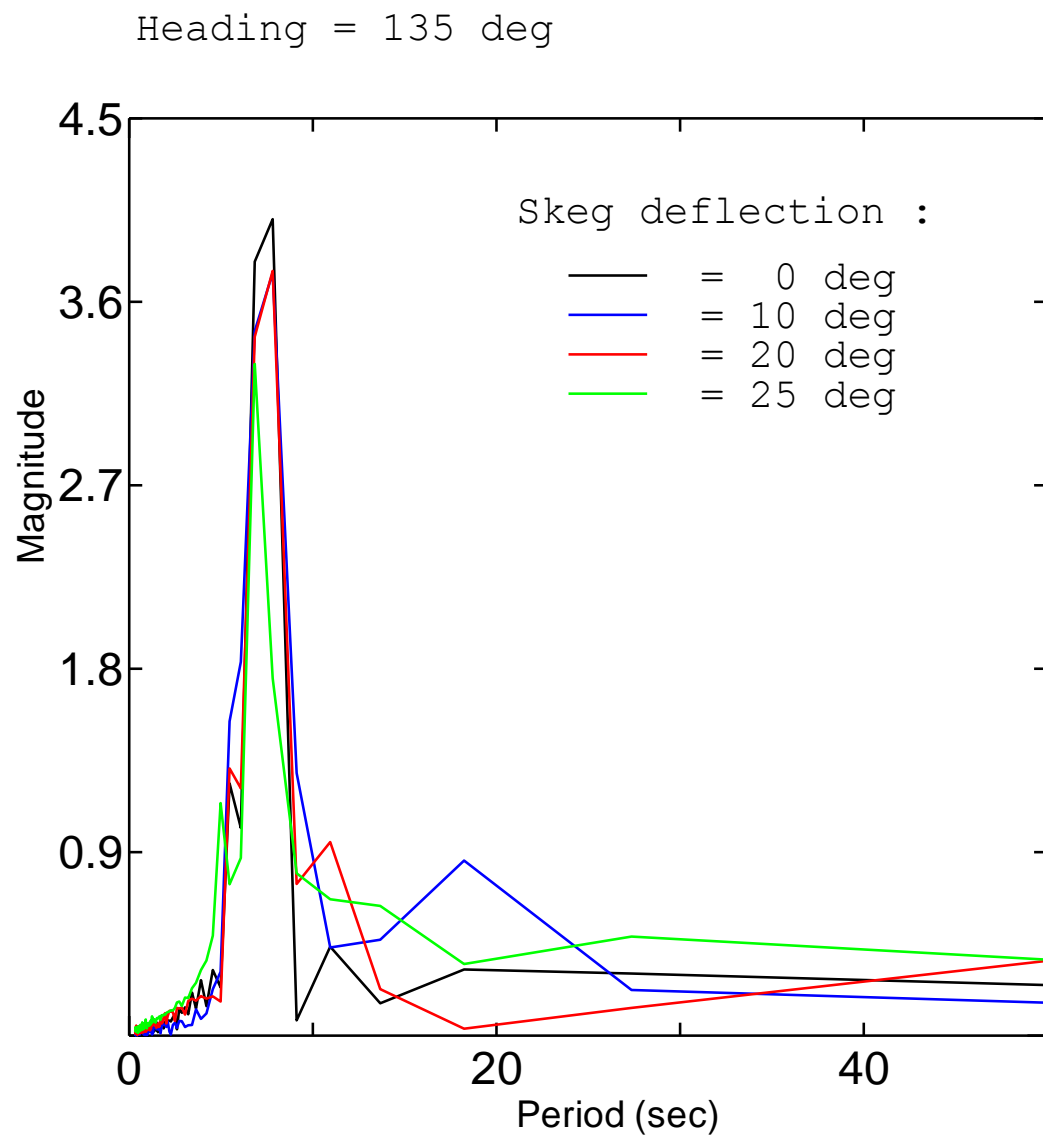
Gambar 4.30. Hasil uji seakeeping arah gelombang 135 deg, sudut skeg 20 deg.

Dari gambar 4.30. terlihat gelombang yang terukur pada saat sudut skeg 20 deg dengan arah gelombang 135 deg. Untuk gambar berikutnya adalah sudut roll yang terukur pada model kapal saat skeg pada posisi 20 deg.



Gambar 4.31. Hasil uji seakeeping arah gelombang 135 deg, sudut skeg 25 deg.

Dari gambar 4.31, terlihat gelombang yang terukur pada saat sudut skeg 25 deg dengan arah gelombang 135 deg. Untuk gambar berikutnya adalah sudut roll yang terukur pada model kapal saat skeg pada posisi 25 deg



Gambar 4.32. Roll Spektrum arah gelombang 135 deg, sudut skeg bervariasi

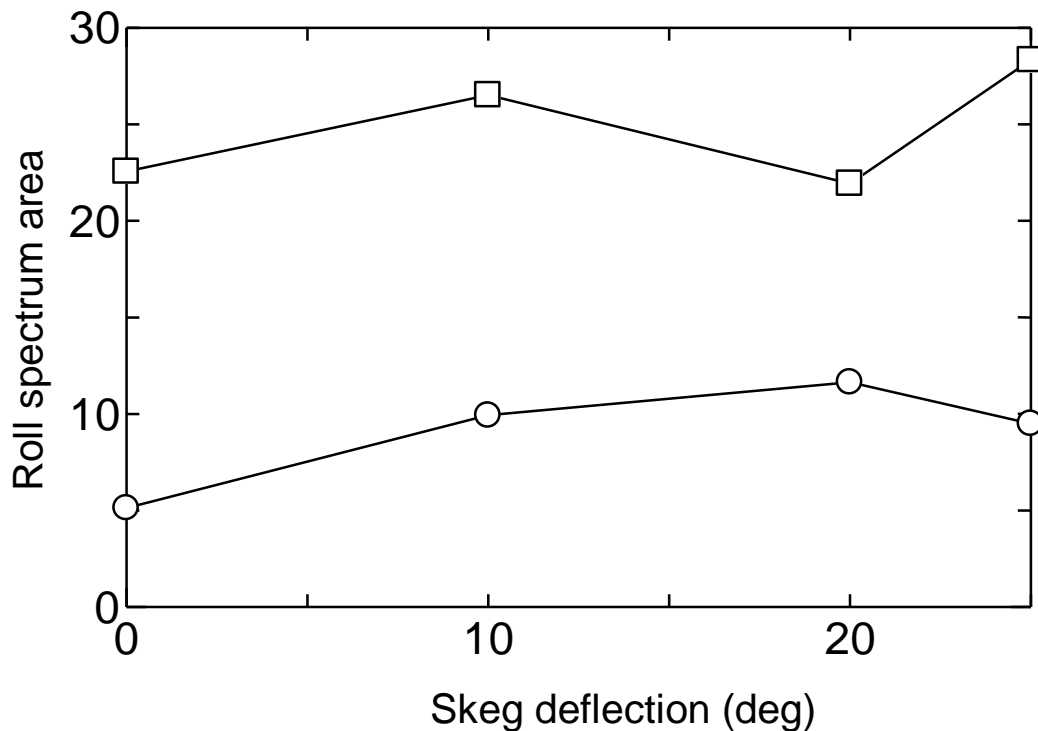
Gambar 4.32. menunjukkan luas energi roll spectrum yang terjadi pada masing-masing variasi sudut skeg adalah sebagai berikut :

Sudut Skeg (deg)	Luas
0	22.5641
10	26.5225
20	21.9372
25	28.3408

Tabel 4.3. Luas Spektrum Roll Energi arah gelombang 135 deg

Sama dengan hasil pengujian dengan arah gelombang 90 deg, pada arah gelombang 135 deg ini dimana perhitungan luas dari besarnya energi roll spektrum ini didasarkan pada hasil gelombang reguler yang dihasilkan adalah tidak benar-benar reguler (murni sinusoidal), sehingga untuk memudahkan perhitungan dan analisisnya digambarkan seperti gambar 4.32 tersebut. Adapun pada detik tertentu (sekitar detik ke 7) terjadi kenaikan energi roll yang besar ini dikarenakan gelombang yang terjadi hampir sama dengan natural period dari model kapal (7,467 sec sesuai dengan roll decay test yang telah dilakukan) dan juga berhimpit dengan frekuensi dari gelombang reguler yang dibangkitkan ($T_w = 7,5$ s)

4.4.4. Energy Roll Spectrum



Gambar 4.33. Energi Roll Spectrum tiap sudut skeg

Pada gambar 4.33. menunjukkan besarnya energi roll spektrum yang terjadi pada model kapal dengan kondisi sesuai sudut skeg yang bervariasi, dengan arah gelombang 135 deg dan 90 deg, dimana energi roll terjadi lebih besar saat gelombang datang dari arah 135 deg. Pada saat sudut skeg 0 deg energi roll yang diterima model kapal adalah sangat kecil dibandingkan dengan sudut skeg berikutnya (10-25 deg) terutama untuk arah gelombang 90 deg. Semakin membesarnya energi spektrum ini diakibatkan skeg yang tidak dapat bergerak secara otomatis sehingga berfungsi sebagai layaknya anti rolling. Sudut skeg yang berubah dan besarnya tetap akan membuat model kapal cenderung memiliki sudut roll yang besar dikarenakan model kapal yang cenderung berbelok karena perubahan sudut skeg yang terjadi (berfungsi seperti rudder yang sedang membelokkan sebuah kapal).

BAB IV

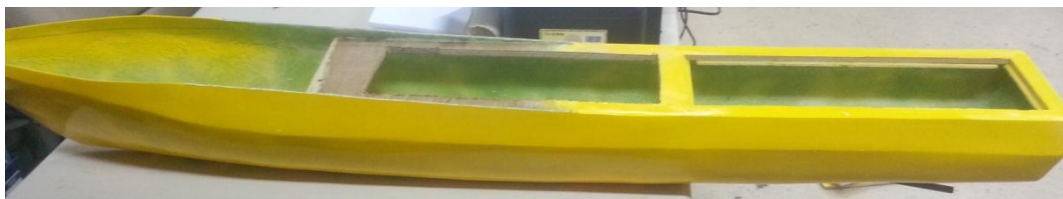
PENGUJIAN SEAKEEPING MODEL KAPAL CEPAT

4.1. Persiapan Model Kapal

Model kapal cepat yang digunakan pada pengujian ini memiliki ukuran utama sebagai berikut : (skala 70,86)

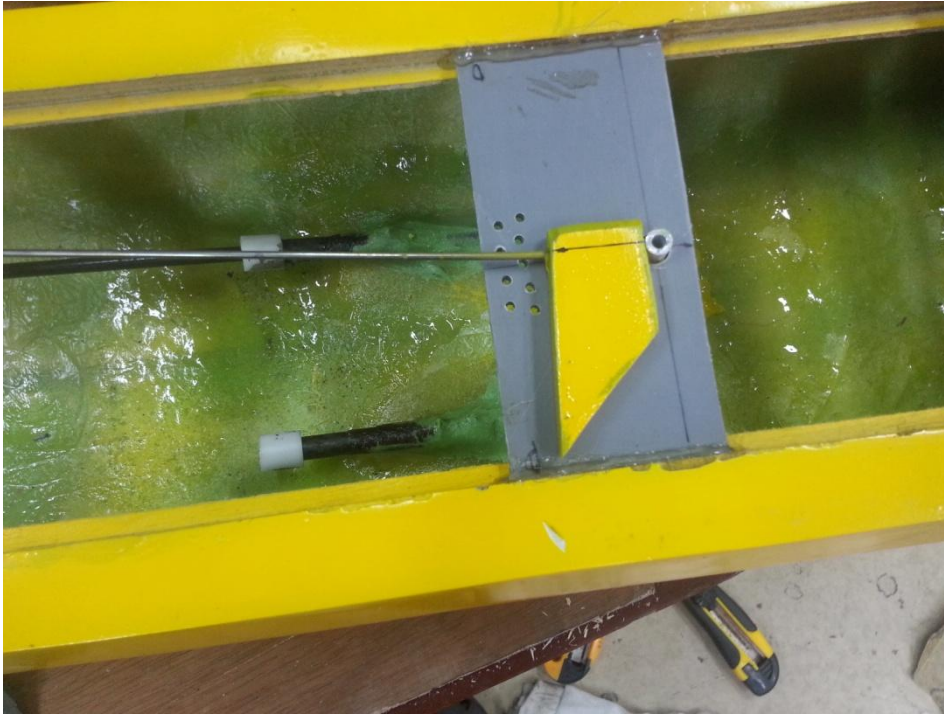
LOA	90	m	1,270	m
B	13	m	0,185	m
Dia Prop	3,3	m	0,047	m
vmax	28	Knots	1,711	m/s
vm	18	Knots	1,100	m/s
disp mod	1700	tons	4,661	kg
Draft	3,6	m	0,051	m

Tabel 4.1. Ukuran Utama Model Kapal

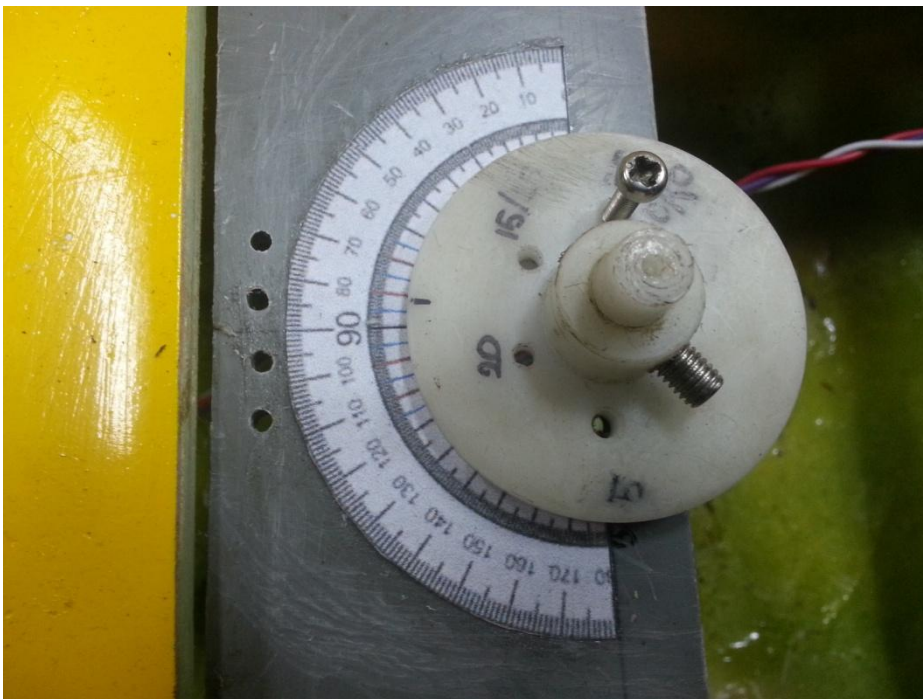


Gambar 4.1. Model Kapal Cepat

Model kapal cepat terbuat dari bahan fiber, dengan rangka kayu dengan warna dasar kuning. Untuk skeg dilakukan modifikasi (dipotong) sehingga dapat diatur sudutnya. Pengaturan skeg menggunakan sistem mekanik berupa sekrup dengan piringan yang memiliki ukuran sudut. Dapat dilihat pada gambar 4.2 dan gambar 4.3.

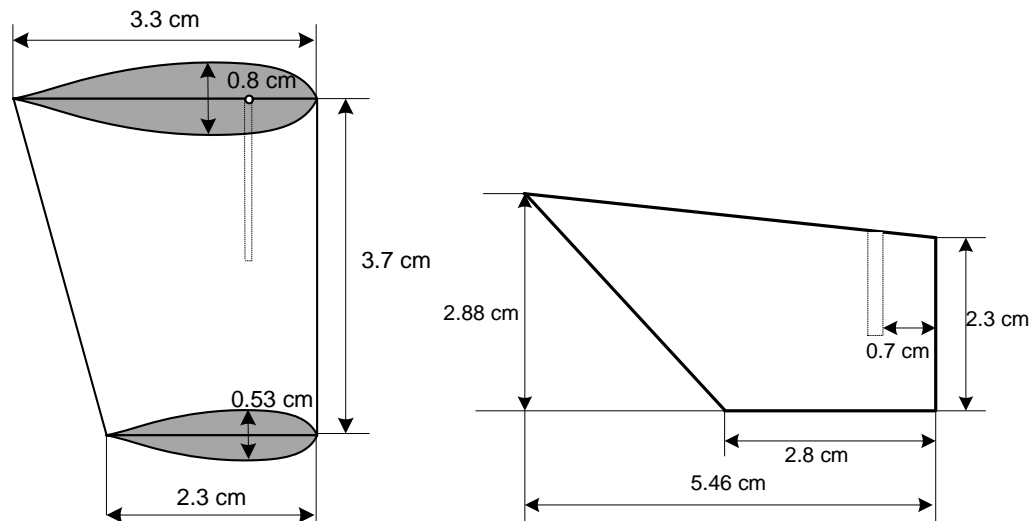


Gambar 4.2. Skeg yang telah dimodifikasi



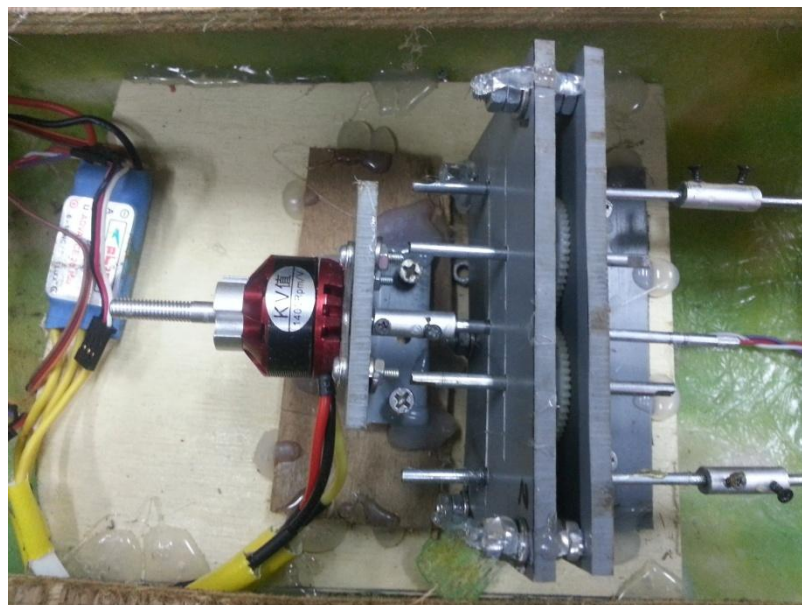
Gambar 4.3. Piringan Pengatur Skeg

Untuk ukuran dari skeg dapat dilihat pada gambar 4.4, (dibandingkan dengan ukuran daun kemudi/rudder)



Gambar 4.4. Ukuran daun kemudi dan skeg yang telah dipotong

Menggunakan 2 buah propeller dengan 1 penggerak (motor dc), sehingga digunakan gear box yang memiliki 1 input dengan 2 buah output.



Gambar 4.5. Gear box dengan Motor DC

Untuk kemudi sebanyak 2 buah menggunakan motor servo dc 2 unit seperti pada gambar 4.6.

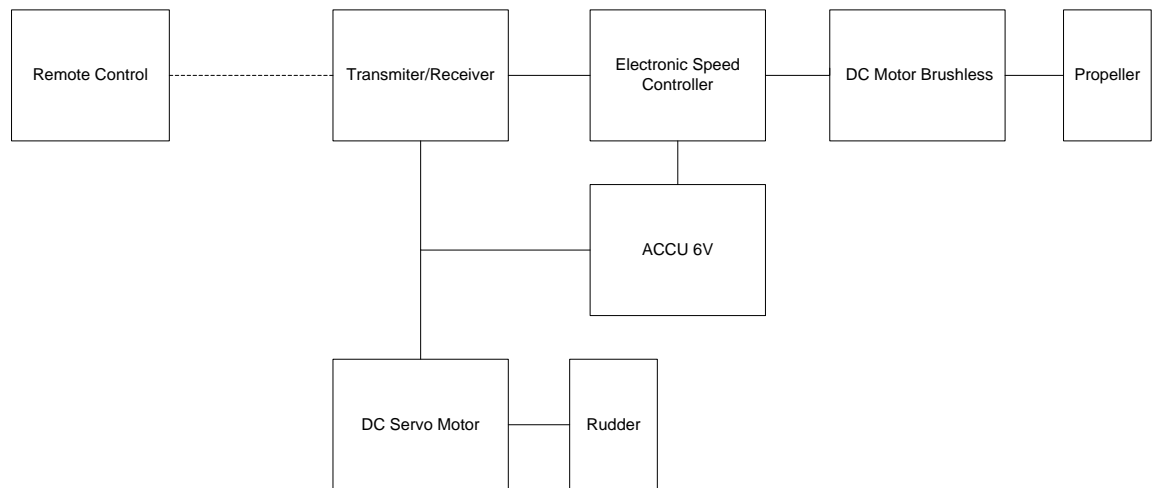


Gambar 4.6. Motor DC Servo untuk penggerak daun kemudi



Gambar 4.7. Daun Kemudi (rudder) dan Propeller

Secara keseluruhan sistem kontrol model kapal menggunakan remote control, untuk mengatur sudut kemudi dan putaran propeller. Secara sederhana dapat digambarkan seperti gambar 4.8.



Gambar 4.8. Blok Diagram Kontrol Model Kapal Cepat

Remote Kontrol memberikan sinyal ke Transmitter/Receiver, sinyal yang dikirimkan tergantung chanel yang digunakan pada remote, 1-6 chanel tergantung kebutuhan. Untuk pengujian seakeeping ini hanya menggunakan 2 channel saja, yaitu untuk kontrol putaran propeller dan untuk kontrol gerakan rudder. Sinyal ini diteruskan ke Electronic Control Speed yang diteruskan ke DC Brushless Motor untuk menggerakkan Gearbox yang dihubungkan oleh shaft menuju propeller, atau langsung ke DC Servo Motor untuk menggerakkan daun kemudi/rudder. Secara keseluruhan kontrol pada model kapal menggunakan batre kering (ACCU) dengan tegangan 6V

Berat keseluruhan model kapal dengan peralatan kontrolnya adalah 3,9 kg, seperti pada gambar 4.9 pada saat penimbangan model kapal, sehingga untuk mencapai displacement kapal seberat 4,6 kg maka diperlukan penambahan berat dengan menggunakan ballast 0,7 kg (700 gram).



Gambar 4.9. Penimbangan Model Kapal

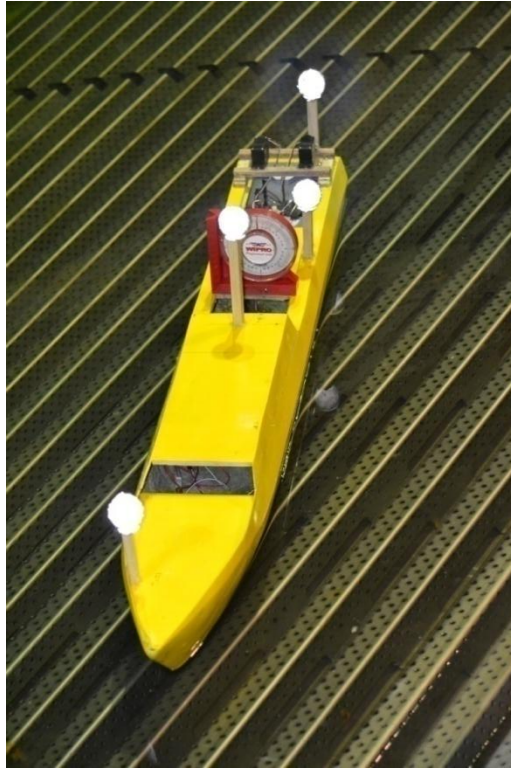
Selain kontrol untuk penggerak model kapal, juga dipasang sensor untuk menangkap gerakan kapal oleh kamera Qualisys. Sensor ini berbentuk seperti bola pingpong dengan permukaan yang terbalut dengan sebuah bahan yang dapat berflouresence/berpendar sehingga dapat tertangkap oleh kamera Qualisys dengan jarak yang cukup.



Gambar 4.10. Sensor Qualisys

Untuk memperoleh displacement yang dibutuhkan, maka perlu ditambahkan pemberat sebesar 700 gram. Setelah diperoleh displacement kapal yang sesuai, maka dilakukan pengaturan posisi pemberat sehingga kondisi kapal

berada pada posisi rata/evenkeel. Pengaturan ini dilakukan ditepi kolam uji dengan bantuan waterpass.



Gambar 4.11. Pengecekan level kapal (evenkeel)

Selanjutnya model diayun searah sumbu memanjang kapal, hal ini bertujuan untuk mengetahui periode gerakan roll model secara natural. Perekaman gerakan roll adalah menggunakan kamera Qualisys

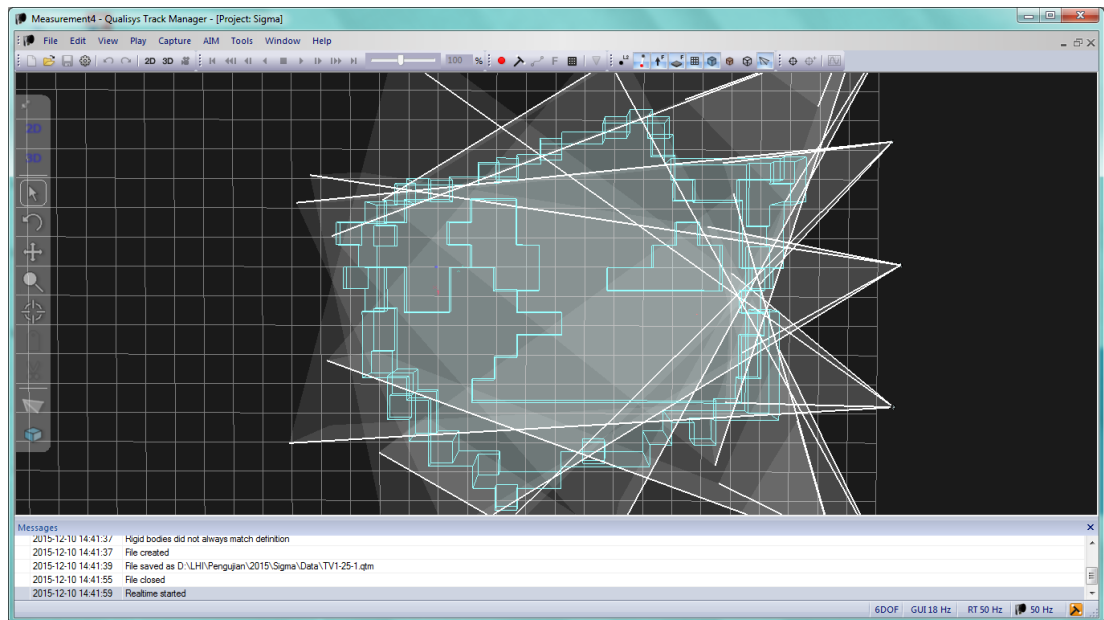
4.2. Persiapan Kolam Uji

Untuk pengujian seakeeping pada kolam uji disiapkan beberapa alat ukur, antara lain pengukur tinggi gelombang (Wave Height Sensor), dan kamera Qualisys yang berfungsi menangkap gerakan model kapal yang telah dipasang sensor. Sensor WHS dipasang pada tengah kolam uji, dalam hal ini digunakan kolam uji dangkal. Untuk kamera Qualisys menggunakan 7 unit kamera, yang terpasang pada sisi kolam uji, sehingga area kolam yang akan terlewati oleh model kapal yang diuji. Setelah kedua alat ukur ini siap pada posisinya, selanjutnya dilakukan kalibrasi.



Gambar 4.12. Posisi Kamera Qualisys pada Sisi Kolam Uji

Kamera Qualisys yang telah terpasang di tepi kolam uji akan merekam seluruh gerakan dari model kapal cepat yang terpasang sensor sesuai dengan jangkauan dari masing-masing kamera itu sendiri. Ini dapat dilihat pada sebuah laptop yang telah terhubung dengan seluruh kamera Qualisys yang telah terpasang. Adapun jangkauan dari keseluruhan kamera dapat digambarkan pada gambar 4.13



Gambar 4.13. Tampilan Jangkauan Kamera Qualisys pada Kolam Uji

Kalibrasi gelombang dilakukan untuk mengukur gelombang yang dihasilkan oleh pembangkit gelombang (Wave Generator), pada pengujian kali ini dibutuhkan gelombang reguler. Kalibrasi ini bertujuan untuk menyesuaikan hasil pengukuran dan hasil teori/perhitungan gelombang reguler yang diinginkan.



Gambar 4.14. Wave Height Sensor

4.3. Pengujian Seakeeping Model Kapal Cepat

Setelah persiapan pengujian tersebut dilakukan, maka tahap selanjutnya adalah pengujian model kapal cepat. Adapun spesifikasi pengujian yang dilakukan adalah :

Jenis Pengujian	: Seakeeping Test Free Running
Jenis Gelombang	: Reguler dengan 2 arah gelombang (90 dan 135)
Instrumentasi	: WHS dan Qualisys
Kontrol Model Kapal	: R/C 2 channel
Kecepatan Model	: 0,8 m/s (13 knots)

Sesuai prosedur pengujian seakeeping di kolam uji MOB UPT BPPH, pengujian dimulai dengan arah gelombang 90 deg. Dengan dipimpin seorang koordinator yang mengendalikan semua operator instrumentasi maupun kontrol pada kolam uji maupun kontrol pada model kapal. Adapun instruksi dari seorang koordinator pengujian memiliki urutan sebagai berikut :

- Cek Instrumentasi (WHS dan Qualisys) dan kontrol model
- Start Pembangkit gelombang
- Start Model Kapal
- Start Pengukuran
- Stop Pengukuran
- Stop Pembangkit Gelombang
- Stop Model Kapal

Demikian langkah seperti ini dilakukan, sesuai kebutuhan data yang akan diambil.

Berikut foto-foto saat pengujian seakeeping :



Gambar 4.15. Pengujian Seakeeping Arah Gelombang 135 deg, dengan sudut Skeg 0 deg



Gambar 4.16. Pengujian Seakeeping Arah Gelombang 135 deg, dengan sudut Skeg 10 deg



Gambar 4.17. Pengujian Seakeeping Arah Gelombang 135 deg, dengan sudut Skeg 20 deg



Gambar 4.18. Pengujian Seakeeping Arah Gelombang 90 deg, dengan sudut Skeg 0 deg



Gambar 4.19. Pengujian Seakeeping Arah Gelombang 90 deg, dengan sudut Skeg 20 deg

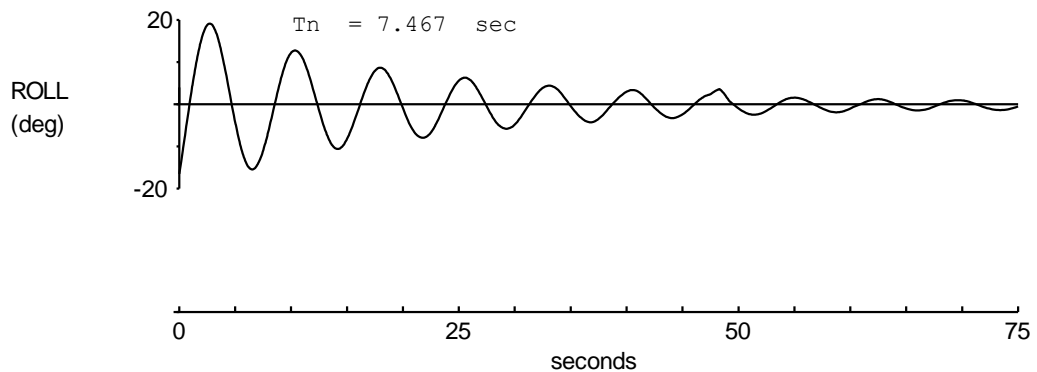
4.4. Hasil Pengujian

Semua hasil pengujian disimpan pada sebuah hard disk, dan kemudian diserahkan ke bagian analisa data. Dengan menggunakan software MatLab, data hasil pengujian dianalisa sehingga dapat terbaca sesuai kebutuhan.

Berikut data hasil pengujian seakeeping model kapal cepat :

4.4.1. Roll Decay Test

DECAY TEST



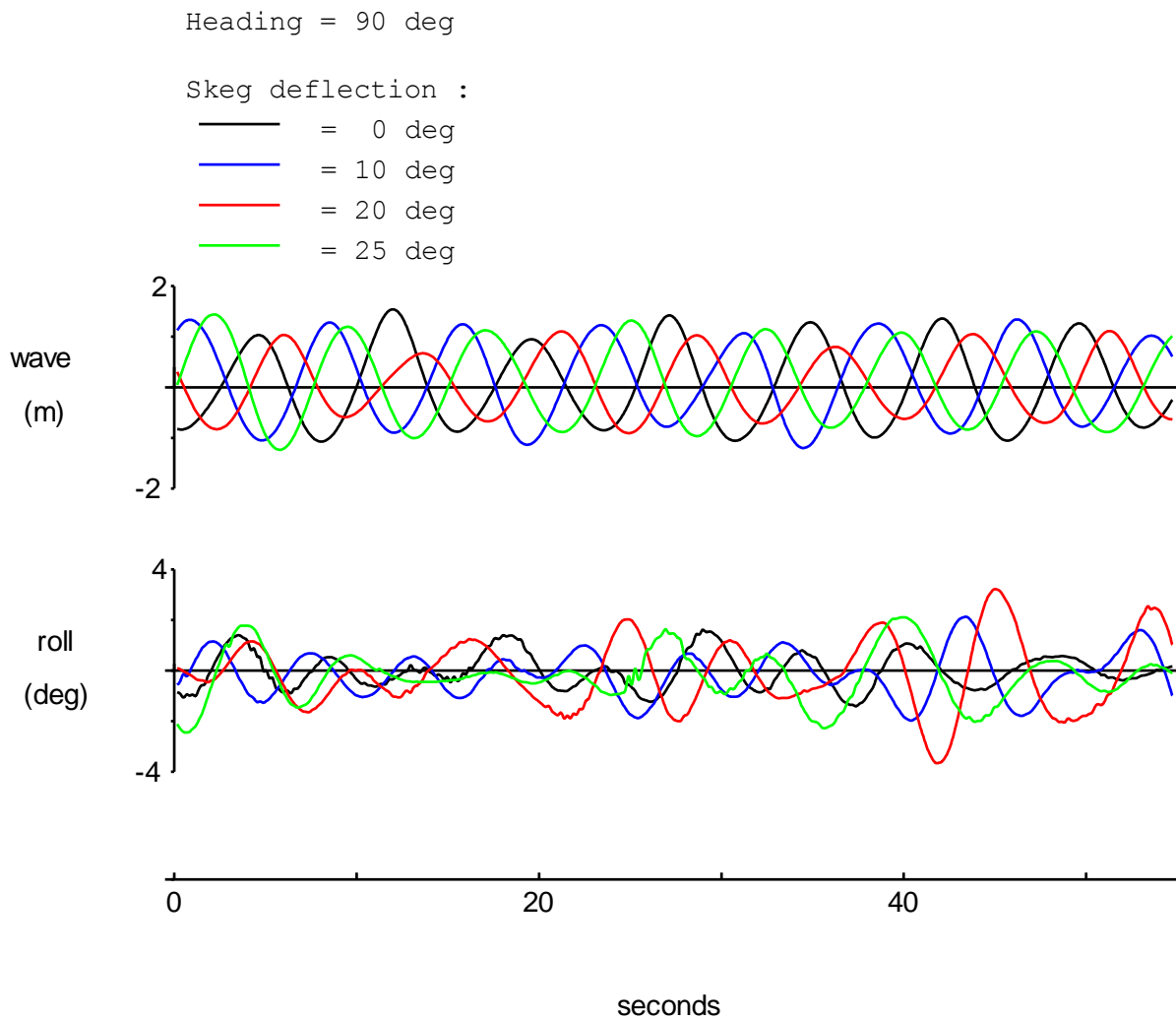
Gambar 4.20. Hasil Pengujian Roll Decay

Dari gambar 4.20. dapat terlihat bahwa waktu untuk gerakan roll yang dilakukan secara natural (natural roll period T_n) adalah = 7.467 sec. Pengukuran ini dilakukan pada kolam uji dengan kondisi air tenang.

4.4.2. Seakeeping Test Arah Gelombang 90 deg

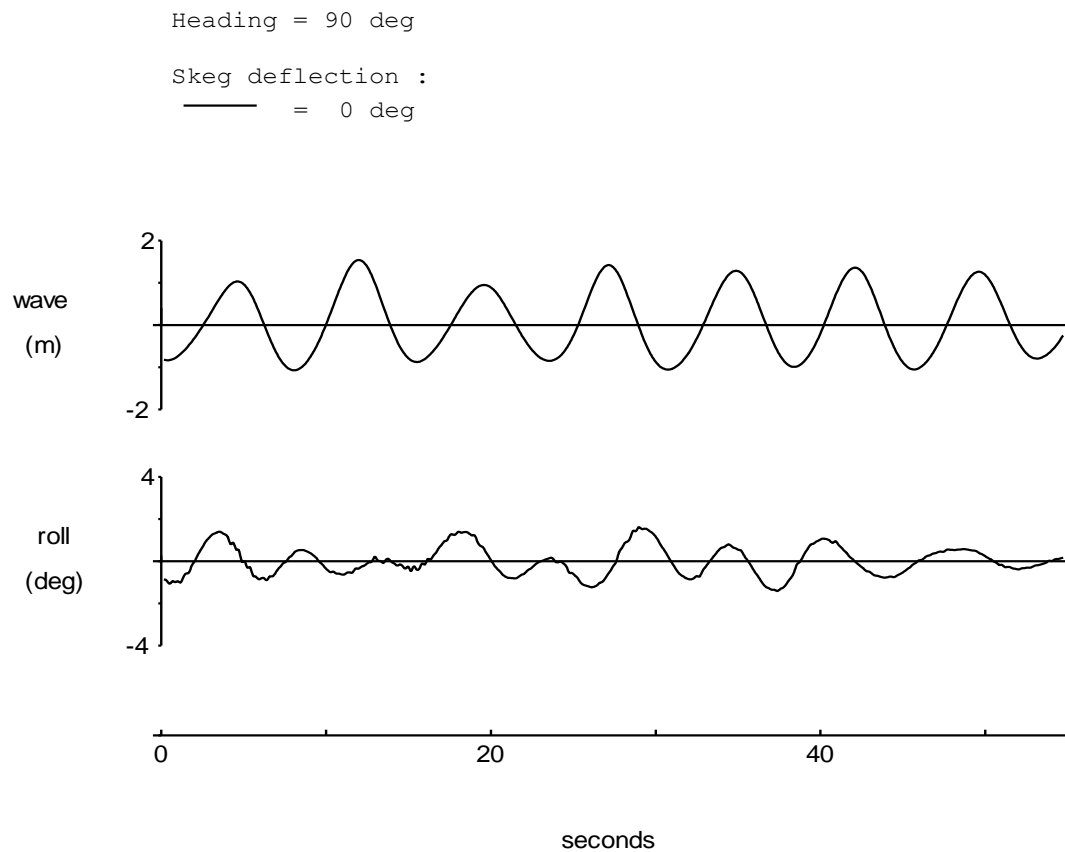
Berikut adalah hasil uji seakeeping dengan arah gelombang 90 deg dengan kecepatan model 0,8 m/s (13 knots). Gambar 4.21 bagian atas menunjukkan tinggi gelombang reguler yang terukur, pada masing-masing sudut skeg yang bervariasi sesuai notasi warna yang digambarkan. Sedangkan untuk gambar dibawahnya adalah besarnya sudut roll yang terjadi pada masing-masing sudut skeg yang

divariasikan, mulai 0 deg, 10 deg, 20 deg dan 25 deg. Semua gambar yang ditampilkan berdasarkan time history (seconds)



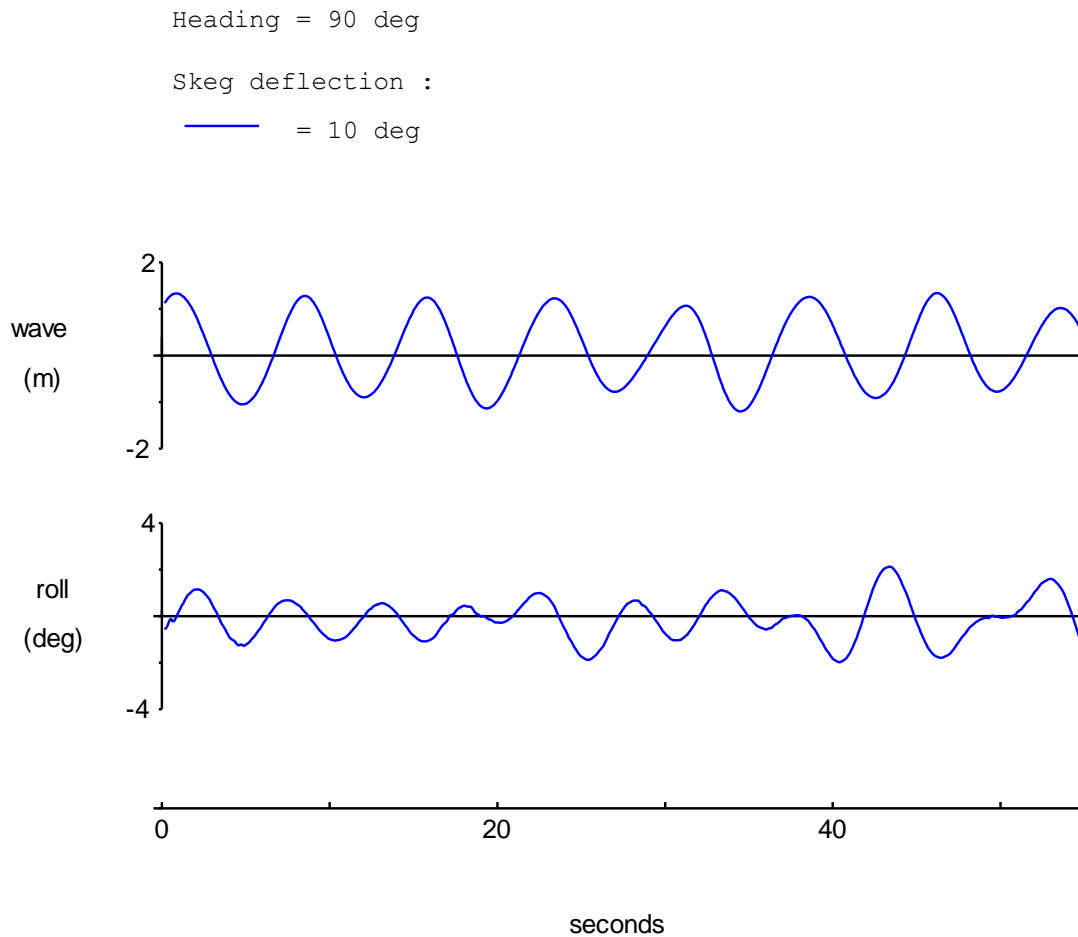
Gambar 4.21. Hasil uji seakeeping arah gelombang 90 deg dengan variasi sudut skeg

Untuk masing-masing sudut skeg akan dijelaskan pada gambar selanjutnya.



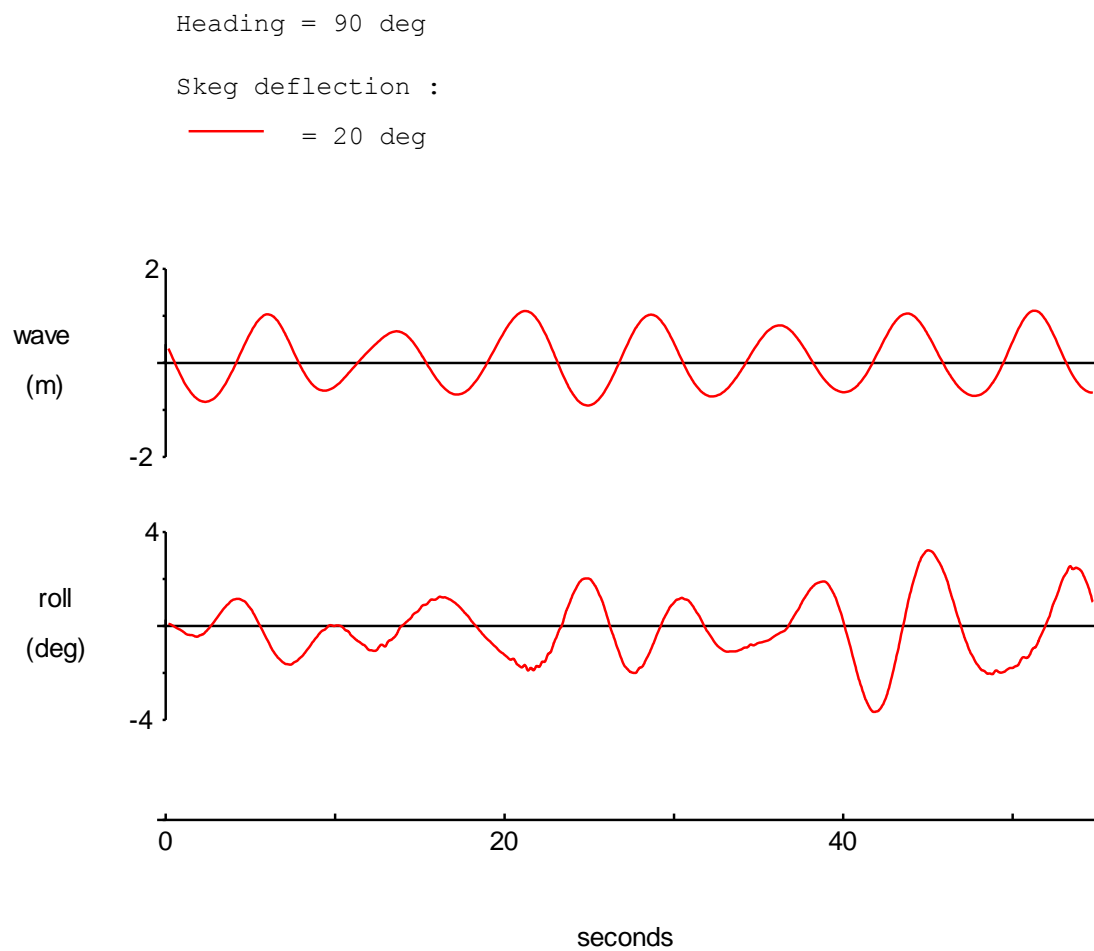
Gambar 4.22. Hasil uji seakeeping arah gelombang 90 deg, sudut skeg 0 deg

Dari gambar 4.22. terlihat gelombang yang terukur pada saat sudut skeg 0 deg dengan arah gelombang 90 deg. Untuk gambar berikutnya adalah sudut roll yang terukur pada model kapal saat skeg pada posisi 0 deg.



Gambar 4.23. Hasil uji seakeeping arah gelombang 90 deg, sudut skeg 10 deg

Dari gambar 4.23. terlihat gelombang yang terukur pada saat sudut skeg 10 deg dengan arah gelombang 90 deg. Untuk gambar berikutnya adalah sudut roll yang terukur pada model kapal saat skeg pada posisi 10 deg.



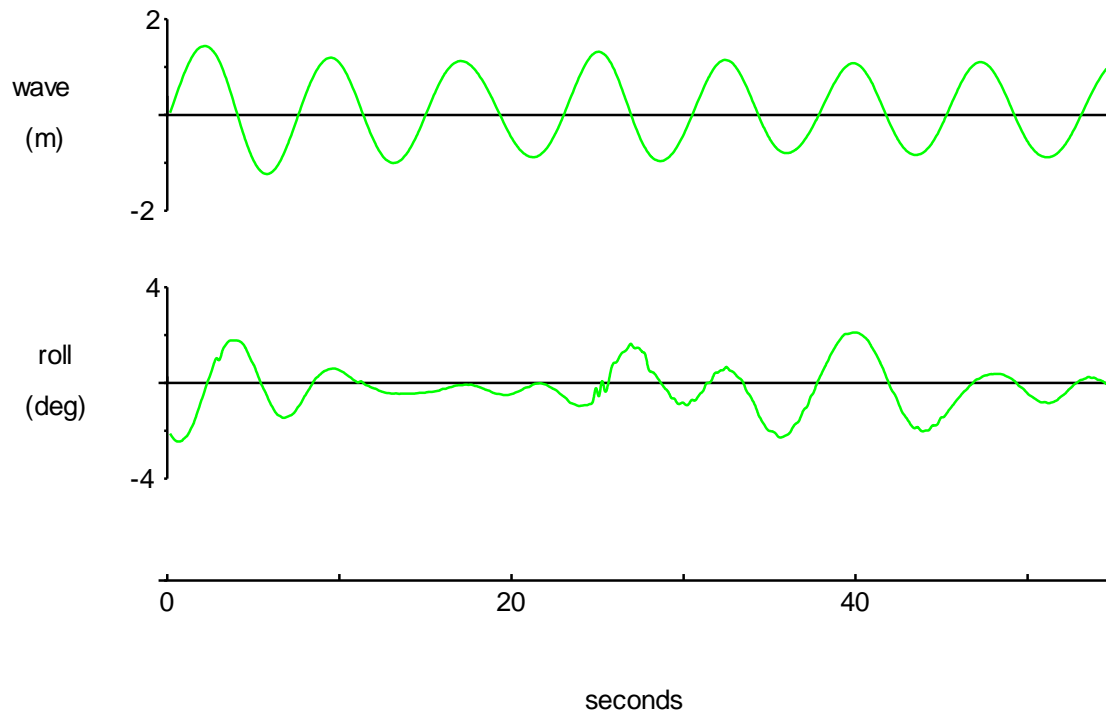
Gambar 4.24. Hasil uji seakeeping arah gelombang 90 deg, sudut skeg 20 deg

Dari gambar 4.24. terlihat gelombang yang terukur pada saat sudut skeg 20 deg dengan arah gelombang 90 deg. Untuk gambar berikutnya adalah sudut roll yang terukur pada model kapal saat skeg pada posisi 20 deg.

Heading = 90 deg

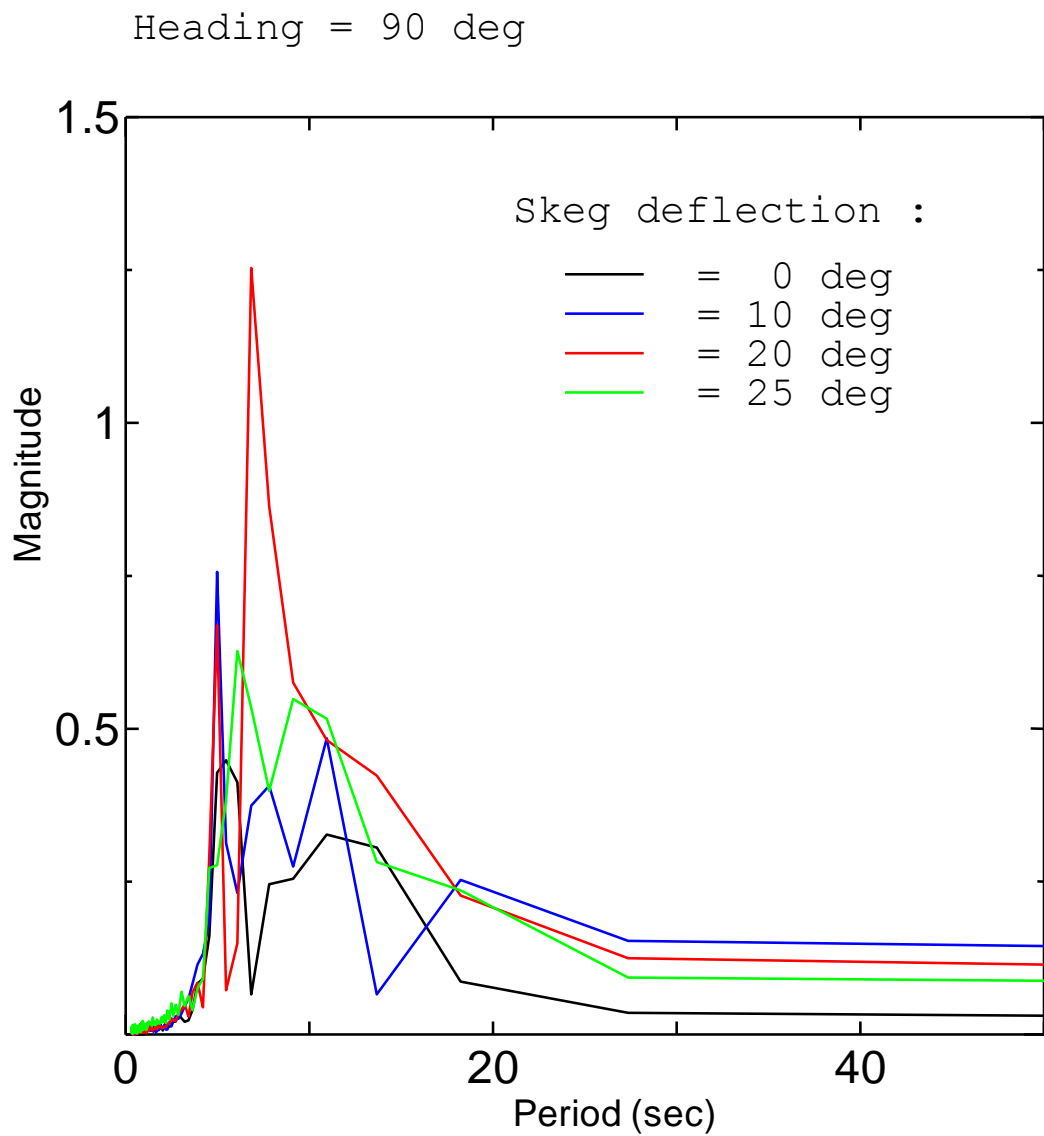
Skeg deflection :

— = 25 deg



Gambar 4.25. Hasil uji seakeeping arah gelombang 90 deg, sudut skeg 25 deg

Dari gambar 4.25. terlihat gelombang yang terukur pada saat sudut skeg 25 deg dengan arah gelombang 90 deg. Untuk gambar berikutnya adalah sudut roll yang terukur pada model kapal saat skeg pada posisi 25 deg



Gambar 4.26. Roll Spektrum arah gelombang 90 deg, sudut skeg bervariasi

Gambar 4.26. menunjukkan luas energi roll spektrum yang terjadi pada masing-masing variasi sudut skeg adalah sebagai berikut :

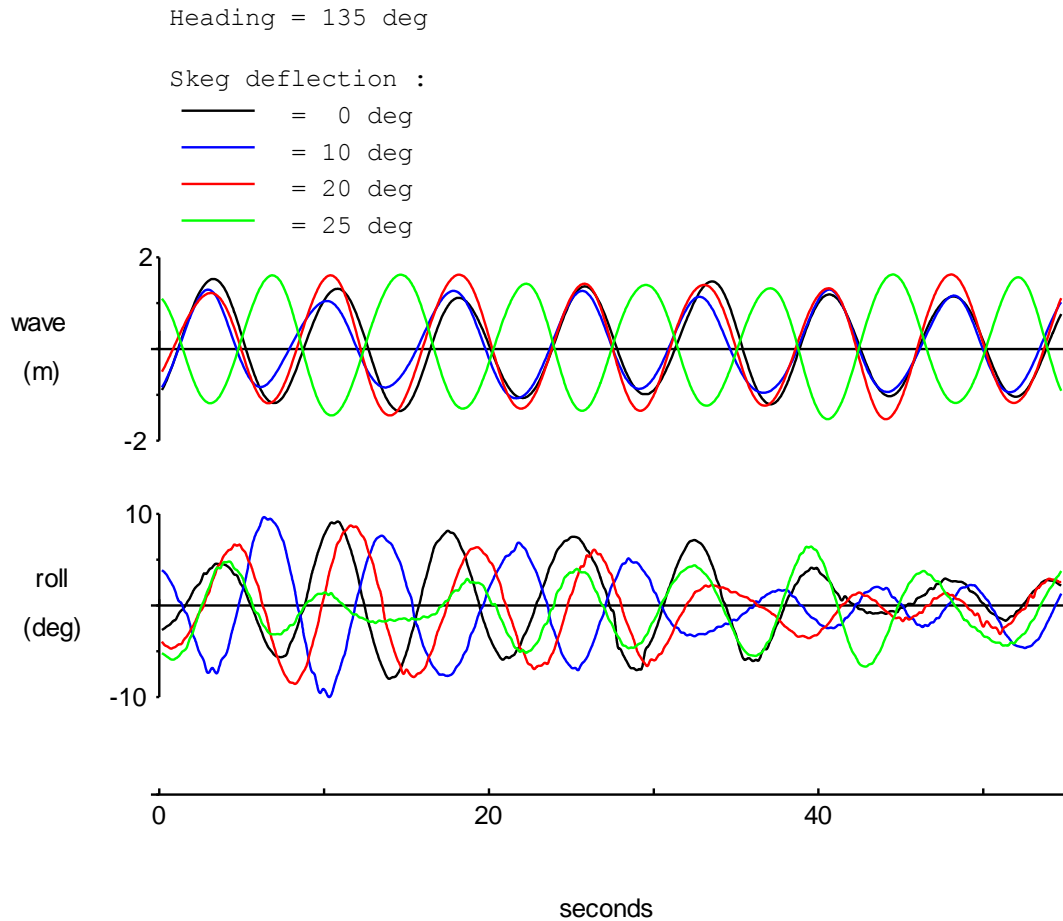
Sudut Skeg (deg)	Luas
0	5.1300
10	9.9318
20	11.6476
25	9.4989

Tabel 4.2. Luas Spektrum Roll Energi arah gelombang 90 deg

Perhitungan luas dari besarnya energi roll spektrum ini didasarkan pada hasil gelombang reguler yang dihasilkan adalah tidak benar-benar reguler (murni sinusoidal), sehingga untuk memudahkan perhitungan dan analisisnya digambarkan seperti gambar 4.26 tersebut. Adapun pada detik tertentu (sekitar detik ke 7) terjadi kenaikan energi roll yang besar ini dikarenakan gelombang yang terjadi hampir sama dengan natural period dari model kapal (7,467 sec sesuai dengan roll decay test yang telah dilakukan) dan juga berhimpit dengan frekuensi dari gelombang reguler yang dibangkitkan ($T_w = 7,5$ s)

4.4.3. Seakeeping Test Arah Gelombang 135 deg

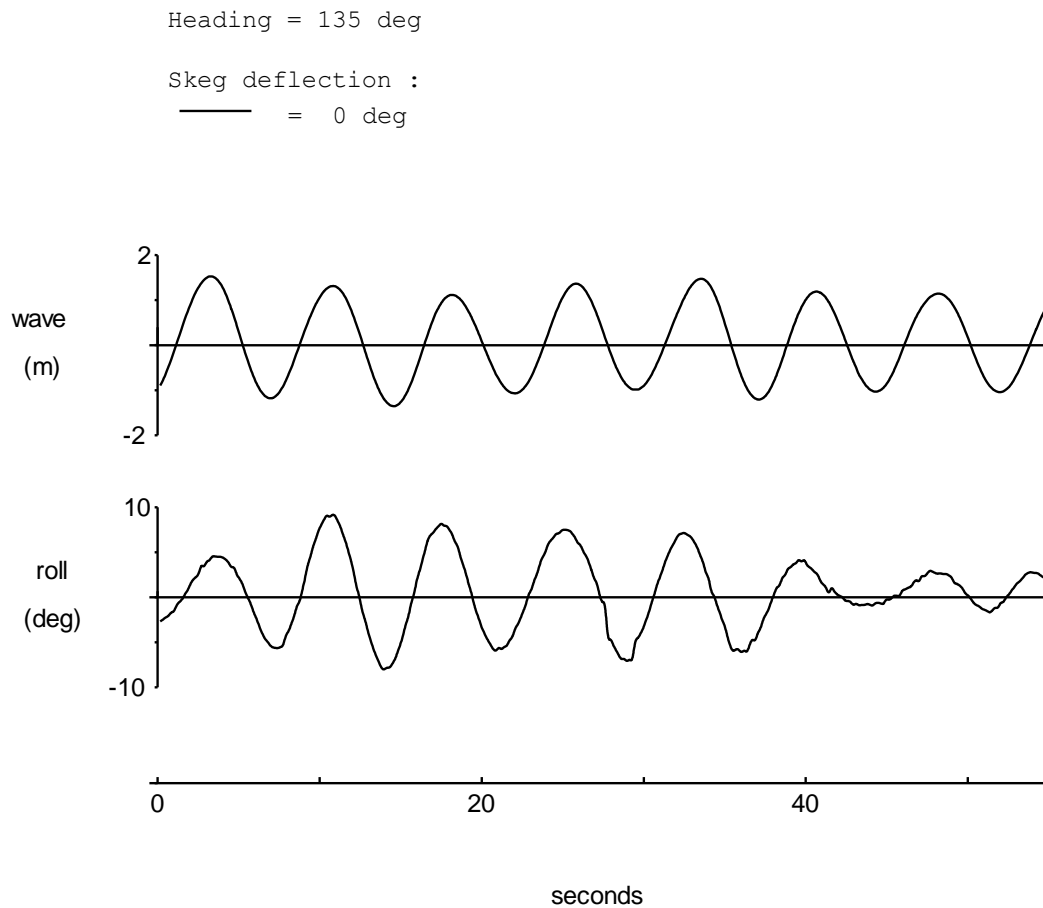
Untuk hasil pengujian seakeeping dengan arah gelombang 135 deg adalah sebagai berikut :



Gambar 4.27. Hasil uji seakeeping arah gelombang 135 deg dg variasi sudut skeg

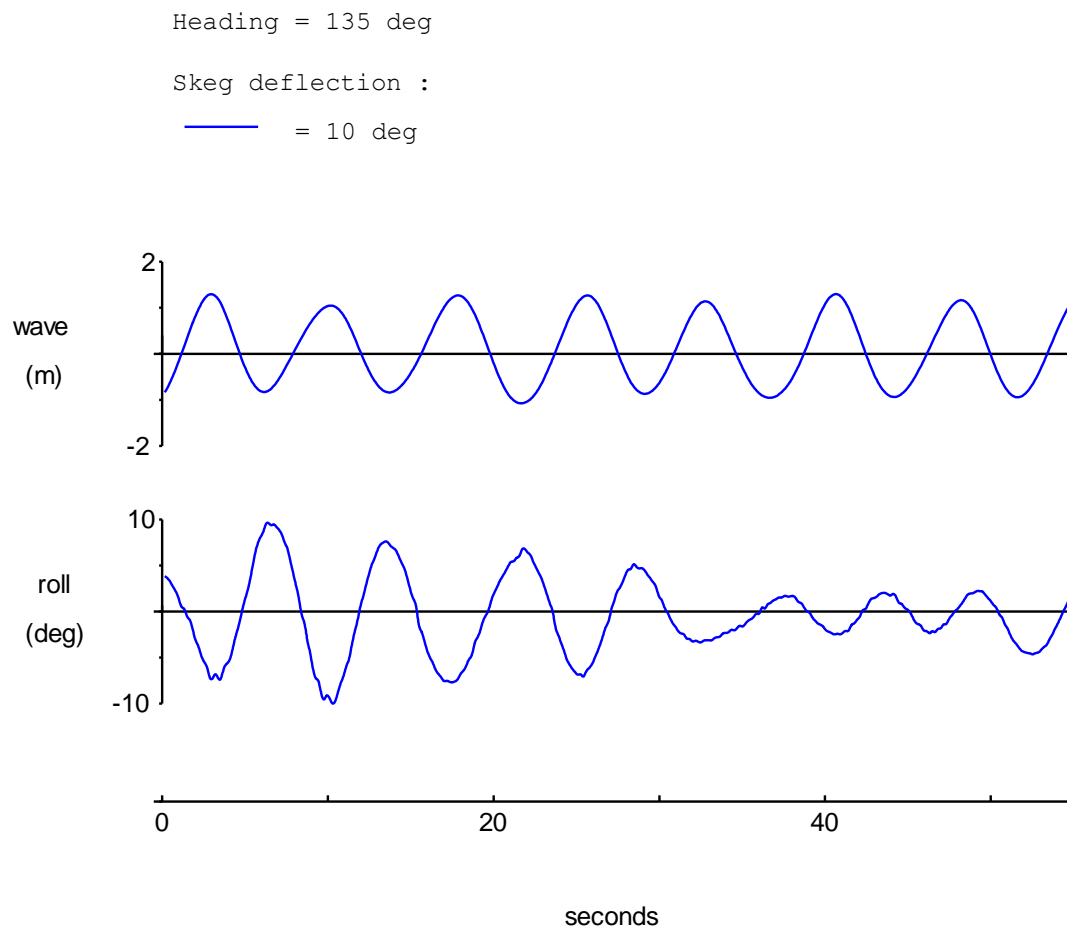
Hasil uji seakeeping dengan arah gelombang 135 deg dengan kecepatan model 0,8 m/s (13 knots). Gambar 4.27. pertama menunjukkan tinggi gelombang reguler yang terukur, pada masing-masing sudut skeg yang bervariasi sesuai notasi warna yang digambarkan. Sedangkan untuk gambar 4.27 berikutnya adalah besarnya sudut roll yang terjadi pada masing-masing sudut skeg yang divariasikan, mulai 0 deg, 10 deg, 20 deg dan 25 deg. Semua gambar yang ditampilkan berdasarkan time history (seconds)

Untuk masing-masing sudut skeg akan dijelaskan pada gambar selanjutnya.



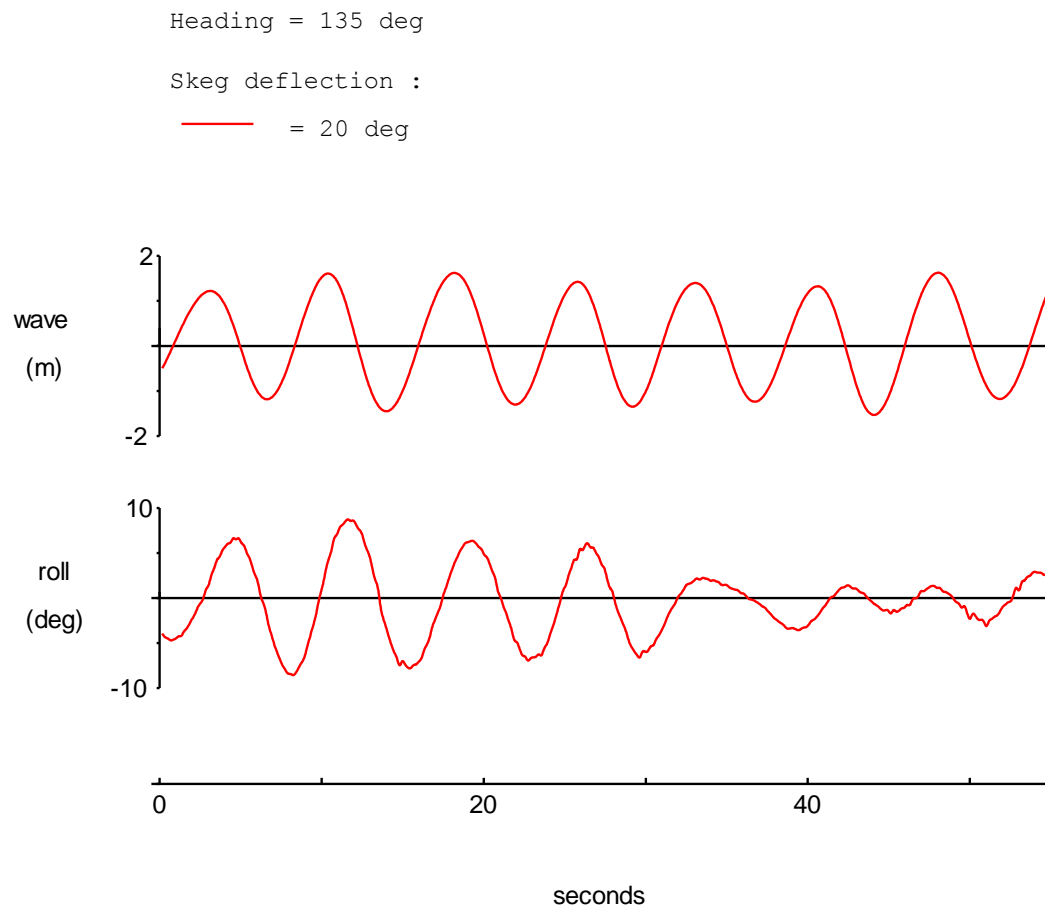
Gambar 4.28. Hasil uji seakeeping arah gelombang 135 deg, sudut skeg 0 deg

Dari gambar 4.28. terlihat gelombang yang terukur pada saat sudut skeg 0 deg dengan arah gelombang 135 deg. Untuk gambar berikutnya adalah sudut roll yang terukur pada model kapal saat skeg pada posisi 0 deg



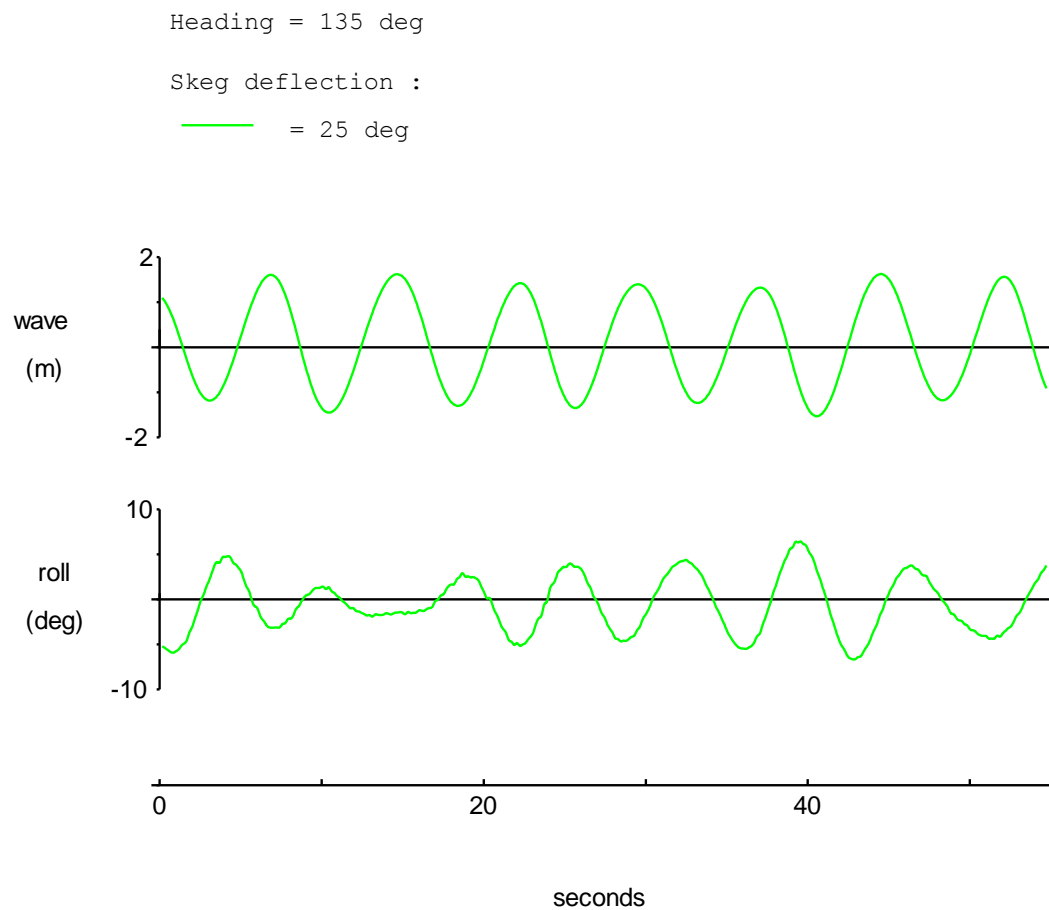
Gambar 4.29. Hasil uji seakeeping arah gelombang 135 deg, sudut skeg 10 deg

Dari gambar 4.29. terlihat gelombang yang terukur pada saat sudut skeg 10 deg dengan arah gelombang 125 deg. Untuk gambar berikutnya adalah sudut roll yang terukur pada model kapal saat skeg pada posisi 10 deg.



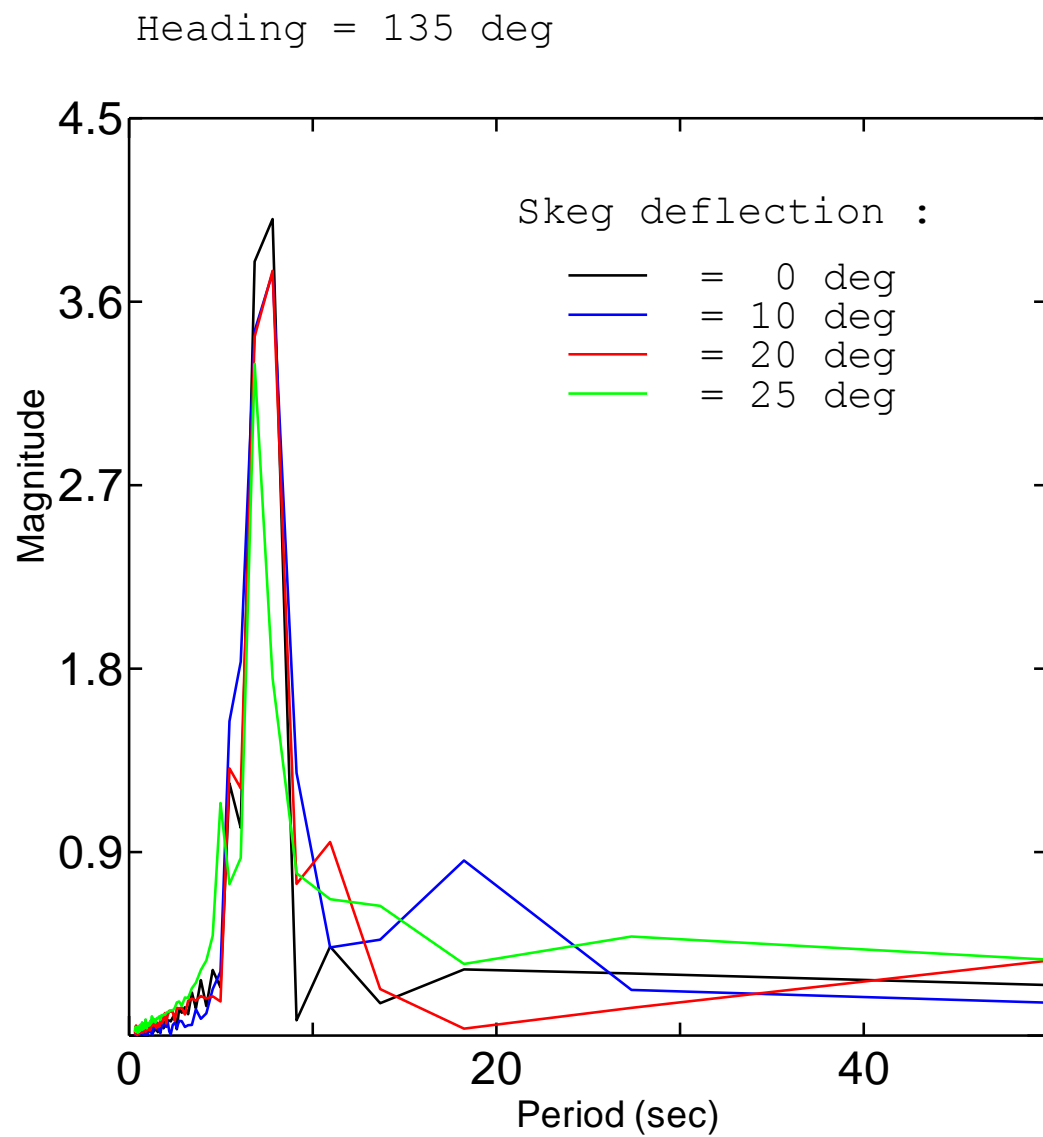
Gambar 4.30. Hasil uji seakeeping arah gelombang 135 deg, sudut skeg 20 deg.

Dari gambar 4.30. terlihat gelombang yang terukur pada saat sudut skeg 20 deg dengan arah gelombang 135 deg. Untuk gambar berikutnya adalah sudut roll yang terukur pada model kapal saat skeg pada posisi 20 deg.



Gambar 4.31. Hasil uji seakeeping arah gelombang 135 deg, sudut skeg 25 deg.

Dari gambar 4.31, terlihat gelombang yang terukur pada saat sudut skeg 25 deg dengan arah gelombang 135 deg. Untuk gambar berikutnya adalah sudut roll yang terukur pada model kapal saat skeg pada posisi 25 deg



Gambar 4.32. Roll Spektrum arah gelombang 135 deg, sudut skeg bervariasi

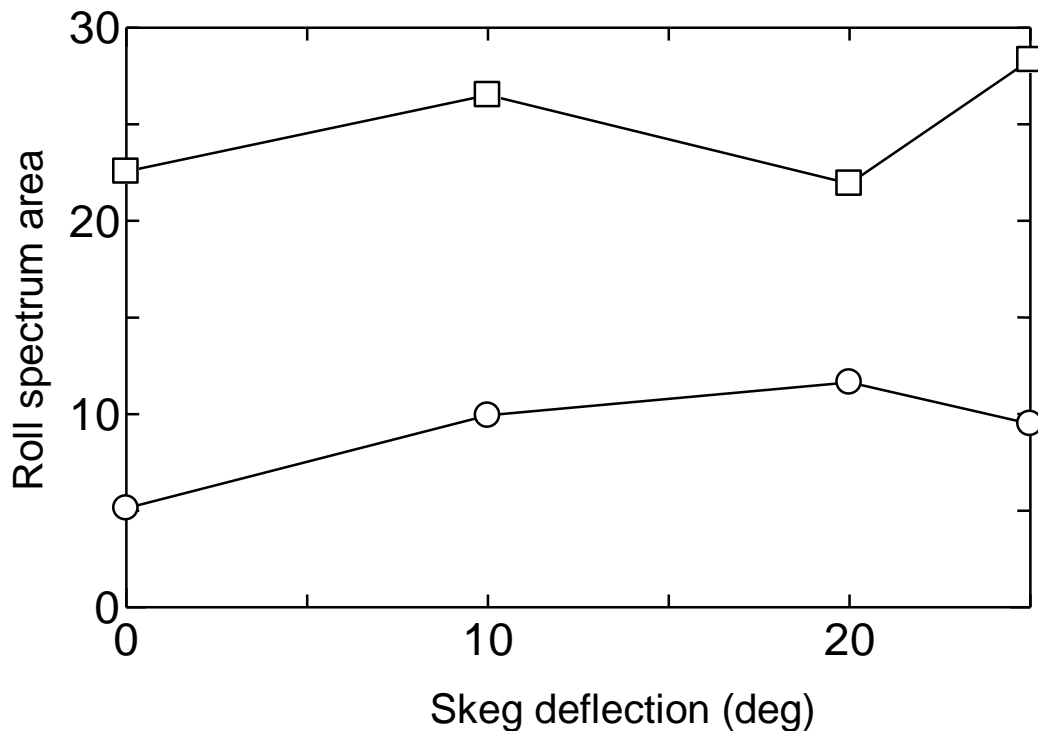
Gambar 4.32. menunjukkan luas energi roll spectrum yang terjadi pada masing-masing variasi sudut skeg adalah sebagai berikut :

Sudut Skeg (deg)	Luas
0	22.5641
10	26.5225
20	21.9372
25	28.3408

Tabel 4.3. Luas Spektrum Roll Energi arah gelombang 135 deg

Sama dengan hasil pengujian dengan arah gelombang 90 deg, pada arah gelombang 135 deg ini dimana perhitungan luas dari besarnya energi roll spektrum ini didasarkan pada hasil gelombang reguler yang dihasilkan adalah tidak benar-benar reguler (murni sinusoidal), sehingga untuk memudahkan perhitungan dan analisisnya digambarkan seperti gambar 4.32 tersebut. Adapun pada detik tertentu (sekitar detik ke 7) terjadi kenaikan energi roll yang besar ini dikarenakan gelombang yang terjadi hampir sama dengan natural period dari model kapal (7,467 sec sesuai dengan roll decay test yang telah dilakukan) dan juga berhimpit dengan frekuensi dari gelombang reguler yang dibangkitkan ($T_w = 7,5$ s)

4.4.4. Energy Roll Spectrum



Gambar 4.33. Energi Roll Spectrum tiap sudut skeg

Pada gambar 4.33. menunjukkan besarnya energi roll spektrum yang terjadi pada model kapal dengan kondisi sesuai sudut skeg yang bervariasi, dengan arah gelombang 135 deg dan 90 deg, dimana energi roll terjadi lebih besar saat gelombang datang dari arah 135 deg. Pada saat sudut skeg 0 deg energi roll yang diterima model kapal adalah sangat kecil dibandingkan dengan sudut skeg berikutnya (10-25 deg) terutama untuk arah gelombang 90 deg. Semakin membesarnya energi spektrum ini diakibatkan skeg yang tidak dapat bergerak secara otomatis sehingga berfungsi sebagai layaknya anti rolling. Sudut skeg yang berubah dan besarnya tetap akan membuat model kapal cenderung memiliki sudut roll yang besar dikarenakan model kapal yang cenderung berbelok karena perubahan sudut skeg yang terjadi (berfungsi seperti rudder yang sedang membelokkan sebuah kapal).

BAB V

KESIMPULAN

Telah dilakukan pengujian seakeeping free running di kolam uji BPPH BPPT dengan tinggi gelombang $H_w = 2,5$ m dengan periode $T_w = 7,5$ (disesuaikan dengan roll natural period saat roll decay test) dengan melihat sea state 4 sesuai operasional kapal cepat. Arah gelombang adalah 90 deg (beam sea) dan 135 deg (quartering sea) dipilih dengan pertimbangan kondisi ekstrim yang terjadi saat di laut lepas.

Dari hasil pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa energi roll spectrum yang terjadi pada model kapal cepat adalah lebih besar saat terkena gelombang dengan arah 135 deg, dibandingkan dengan arah gelombang 90 deg (beam sea). Adapun modifikasi skeg yang dilakukan tidak berpengaruh terhadap reduksi gerakan roll pada model kapal ketika uji seakeeping, baik arah gelombang dari sudut 90 deg maupun sudut 135 deg. Hal ini dapat dilihat dari besarnya energi roll yang hampir sama bila dilihat dari besarnya luasan energi roll spektrum yang terjadi pada masing-masing arah gelombang. Ini dimungkinkan karena skeg yang digunakan tidak bergerak secara dinamis sehingga tidak dapat mereduksi gerakan roll yang terjadi pada model kapal cepat. Dengan kata lain gerakan roll pada model kapal akan berkurang apabila skeg dapat bergerak secara otomatis seperti gerakan aktif fin atau fin stabilizer dengan menggunakan kontrol dan sensor tertentu.

Sebagai saran adalah dengan menambah sensor berupa gyro, yang dapat mengetahui gerakan roll kapal, sehingga menjadi umpan balik pada sebuah kontrol untuk dapat menggerakkan skeg yang dinamis sehingga dapat bergerak seperti fin stabilizer atau aktif fin. Ini dapat dilakukan pada studi selanjutnya untuk memperluas kajian terhadap efek penggunaan skeg aktif yang secara otomatis bergerak untuk mereduksi gerakan roll yang terjadi pada kapal cepat

DAFTAR PUSTAKA

1. Ahmed Abdel Gawad F. , Saad A. Ragab, Ali H. Nayfeh, Dean T. Mook, "Roll stabilization by anti-roll passive tanks", 1999
2. Alfany Hardiyanty, Aulia S.A, dan A. A. Masroeri, Perancangan Sistem Stabilisasi Rudder Roll pada Kapal Perang Kelas SIGMA dengan Kontrol Logika Fuzzy, JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 2, No. 1, 2013
3. Bhattacharyya, R., *Dynamics of Marine Vehicles*, John Wiley & Sons Inc., New York, 1978,
4. Camstock, E.N. Bales, SL, and Keane, R.G., "Seakeeping in Ship Operations", SNAME STAR Symposium, Sandiego, 1980
5. Lloyd, A.R.J.M, and Andrew, R.N., "Criteria for Ship Speed in rough weather", 18th American Towing Tank Conference.
6. Lloyd, A.R.J.M., *Seakeeping : Ship Behaviour in Rough Weather*, Ellis Horwood Limited, Chichester, 1989.
7. Indonesian Hydrodynainic Laboratory, Operation Manual of Instrumentation, 1993
8. NORDFORSK, The Nordic Cooperative Project, "Seakeeping Performance of Ship", Assessment of Ship Performance in Seaway", 1987.
9. Proceedings of 23rd International Towing Tank Conference, Volume 2, pp 18-24, October 2002.
10. Ochi, "Extreme Behaviour of a Ship in Rough Seas – Slamining and Shipping Green water", Trans. S.N.A.M.E., 1964.
11. Ochi, "*Prediction Occurance and severity of ship Slamining at Sea*", paper presented at a Fifth Symposium on Naval Hydrodynainics, Bergen, Norway, september, 1964.
12. Olson, S. R., "A Seakeeping Evaluation of Four Naval Monohulls and 3250 ton SWATH", Centre for Naval Analysis Memorandum 77-0640, 1977
13. Pierson, W.J., and St Dennis, M., "On the motion of Ship in Confused Seas", Trans SNAME, Vol 61, pp 280-357, 1953

12. Yusuf H Siregar, Syaifuddin, dan Ronald M Hutaaruk, “ THE SHIP WITH
AND WITHOUT SHAKY FIN STABILIZER IN LIEU OUTRIGGER, 2013

BIOGRAFI



Mochammad Ali Mudhoffar, dilahirkan di Surabaya pada tanggal 19 Oktober 1975 dari pasangan S. Malikan (Alm) dan Cholifah dari 5 bersaudara yang sekarang tinggal di Kyai Abdul Karim nomer 77 Surabaya.

Jenjang pendidikan dasar ia tempuh di SD TPP Khadijah (tahun 1980-1986) di Wonokromo, Surabaya dan di SMPN 17 Surabaya (tahun 1987-1990). Adapun jenjang Pendidikan menengahnya di STM Negeri Perkapalan Sidoarjo (tahun 1991-1994). Setelah lulus pendidikan menengah, bekerja di PT Pal Indonesia pada bagian Direktorat Teknologi dan ditempatkan di Laboratorium Hidrodinamika Indonesia yang didirikan atas kerjasama PT Pal Indonesia dengan BPP Teknologi. Sambil bekerja ia melanjutkan kuliah S1 di Universitas Muhammadiyah Surabaya (tahun 1994-2001) mengambil program studi Teknik Elektro (arus kuat). Saat pertengahan kuliah S1, ia mengambil cuti untuk mengikuti kuliah di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya mengambil program studi Teknik Bangunan Kapal dengan jenjang D3 (tahun 1998-2000). Pada tahun 1998 ia memilih untuk bergabung dengan BPP Teknologi hingga sekarang dan ditempatkan di Pusat Teknologi Rekayasa Industri Maritim di Surabaya.

Pada tengah semester kedua tahun 2014, penulis mendapatkan beasiswa dari Kemenristekdikti untuk mengikuti kuliah pasca sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, pada Fakultas Teknik Kelautan, Jurusan Teknik Sistem dan Pengendalian Kelautan (tahun 2014-2016).

